

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
18 janvier 2001 (18.01.2001)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 01/05019 A1**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup>: H02K 37/18

(21) Numéro de la demande internationale:

PCT/CH00/00381

(22) Date de dépôt international: 12 juillet 2000 (12.07.2000)

(25) Langue de dépôt: français

(26) Langue de publication: français

(30) Données relatives à la priorité:

99810614.0

12 juillet 1999 (12.07.1999)

EP

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US): MMT  
S.A. [CH/CH]; c/o Bocard & Cie, Allée des Grand'Places  
1, CH-1700 Fribourg (CH).

(72) Inventeurs; et

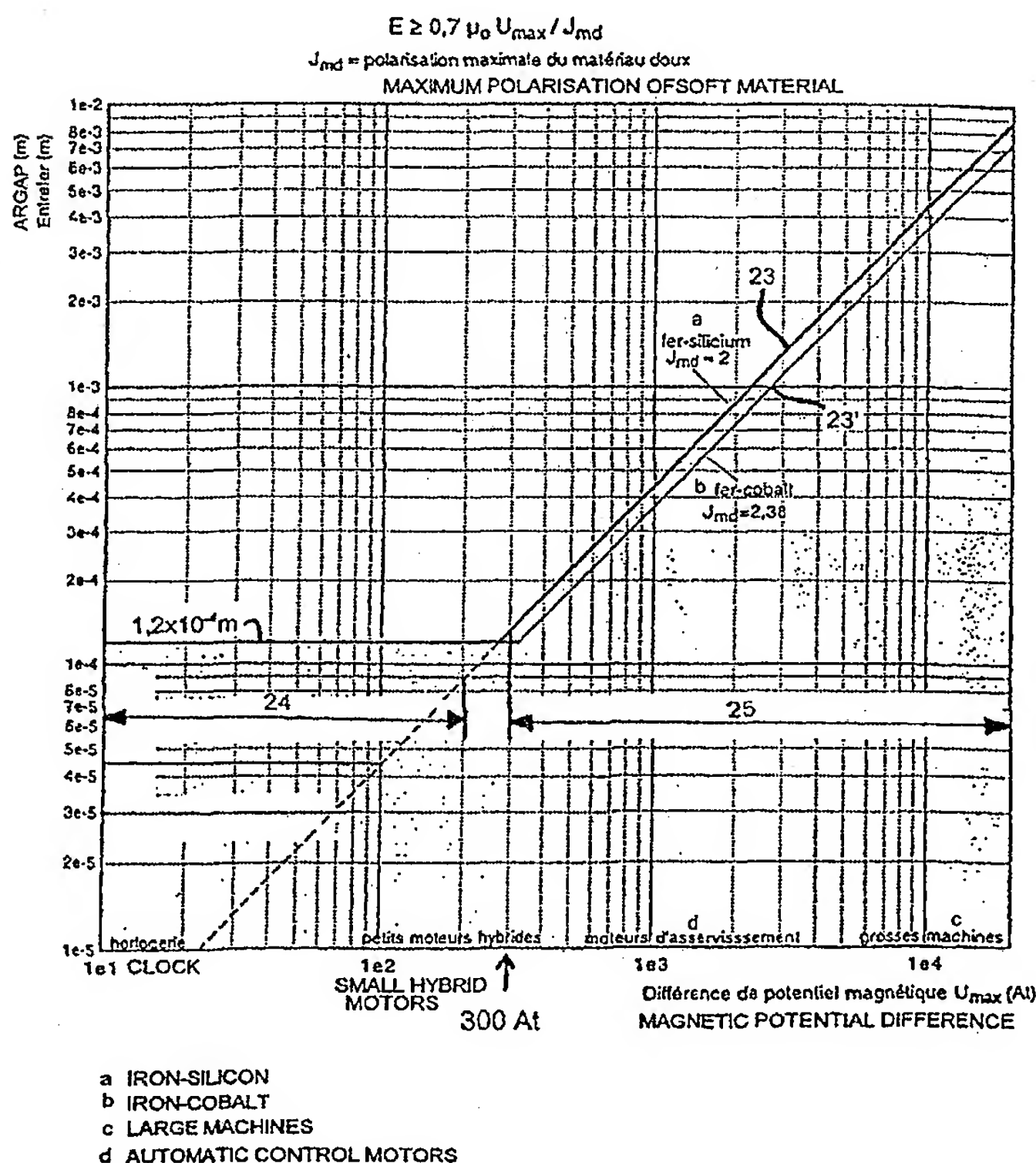
(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement): OUDET,  
Claude [FR/FR]; 12, rue Capitaine Arrachart, F-25000  
Besançon (FR). URWYLER, Jean-François [CH/CH];  
36, rue de Bruye, CH-2732 Reconviller (CH).

(74) Mandataire: WILLIAM BLANC & CIE; Conseils  
en Propriété Industrielle SA, 9, rue du Valais, CH-1202  
Genève (CH).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MOTOR OR GENERATOR TYPE ELECTROMAGNETIC DEVICES

(54) Titre: DISPOSITIFS ELECTROMAGNETIQUES DE TYPE MOTEUR OU GENERATEUR



stator mesurée dans le sens perpendiculaire

(57) Abstract: The invention concerns an electromagnetic device, namely a linear or rotary single-phase or polyphase motor or generator, comprising at least two sets of teeth made of soft magnetic material and with relative phase displacement, one set of teeth being linked to the stator and the other to the rotor, the device having a dimension enabling it to generate a maximum magnetic potential  $U_{\max}$  of at least  $1,7 \cdot 10^{-4} J / \mu_0$  amperes-turns. The length  $E$  of the minimum air gap between the teeth of the rotor and of the stator measured in the perpendicular direction in degree of freedom is approximately equal or more than the value  $0,7 \mu_0 U_{\max} / J$ , wherein  $\mu_0$  is the vacuum permeability,  $U_{\max}$  is the maximum magnetic potential difference generated for causing a magnetic field to pass through the air gap  $E$ , and wherein  $J$  is the maximum polarisation of the soft material used for making the teeth.

(57) Abrégé: Dispositif électromagnétique, à savoir un moteur ou générateur mono- ou polyphasé, linéaire ou rotatif, comportant au moins deux jeux de dents en matériau magnétique doux et en déplacement relatif par phase, un jeu de dents étant lié au stator et l'autre au rotor, le dispositif ayant une taille lui permettant la génération d'un potentiel magnétique maximal  $U_{\max}$  d'au moins  $1,7 \cdot 10^{-4} J / \mu_0$  ampères-tours. La longueur  $E$  de l'entrefer minimal entre dents du rotor et du

[Suite sur la page suivante]



(81) États désignés (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AT (modèle d'utilité), AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, CZ (modèle d'utilité), DE, DE (modèle d'utilité), DK, DK (modèle d'utilité), DM, DZ, EE, EE (modèle d'utilité), ES, FI, FI (modèle d'utilité), GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KR (modèle d'utilité), KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SK (modèle d'utilité), SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) États désignés (*régional*): brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen

(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée:**

- Avec rapport de recherche internationale.
- Avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues.

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

Publication number:

0 288 050  
A2

**EUROPEAN PATENT APPLICATION**

② Application number: 88106392.9

⑤ Int. Cl.<sup>4</sup> H02K 37/02 , H02P 7/00

②② Date of filing: 21.04.88

③ Priority: 24.04.87 JP 99842/87

④3 Date of publication of application:  
26.10.88 Bulletin 88/43

⑧ Designated Contracting States:  
DE FR GB

⑦ Applicant: **HITACHI, LTD.**  
6, Kanda Surugadai 4-chome  
Chiyoda-ku Tokyo 101(JP)

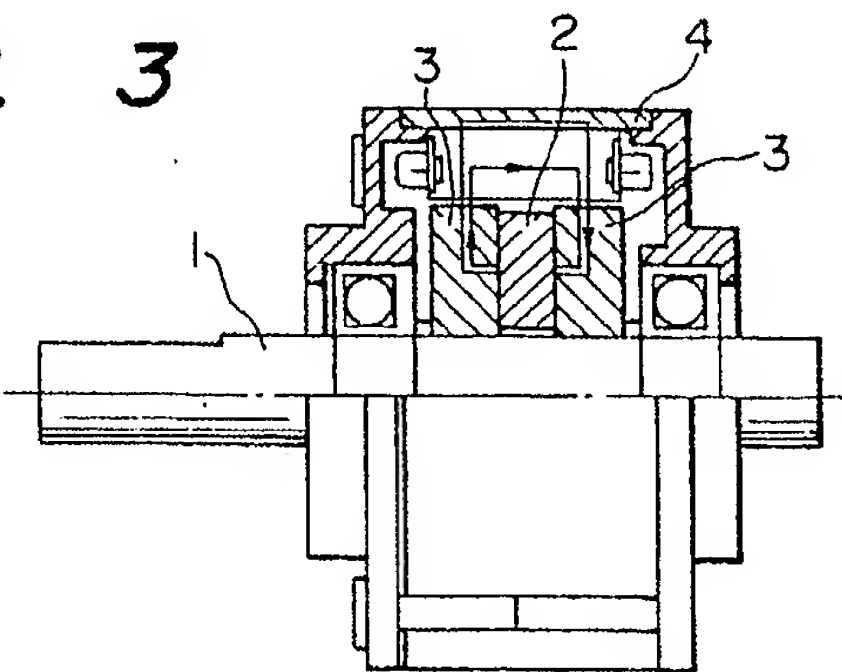
72 Inventor: Hashimoto, Ichiro  
23-6, Hanayama-cho 1-chome  
Hitachi-shi Ibaraki 316(JP)  
Inventor: Ishizaki, Kosho  
19-2, Hanayama-cho 1-chome  
Hitachi-shi Ibaraki 316(JP)  
Inventor: Hayashida, Hiroshi  
2253-34, Hori-machi  
Mito-shi Ibaraki 310(JP)  
Inventor: Miyashita, Kunio  
45-15, Nishi Narusawa-cho 4-chome  
Hitachi-shi Ibaraki 316(JP)

74 Representative: Patentanwälte Beetz sen. -  
Beetz jun. Timpe - Siegfried -  
Schmitt-Fumian  
Steinsdorfstrasse 10  
D-8000 München 22(DE)

⑤4 Low-speed high-torque motor.

57 A large number of teeth are formed on the outer circumference of a rotor (1). A stator (2) is disposed around the rotor. The stator has multiple magnetic poles whose number is  $n$  times the number of phases. Each pole has formed on its surface a plurality of teeth at a pitch equal to the rotor tooth pitch. The teeth mounted on the adjacent magnetic poles are selected to be one-half or thereabout against to the rotor teeth for making the adjacent poles are to be opposite phases each other.

FIG. 3



Xerox Copy Centre

**EP 0 288 050 A2**

## LOW-SPEED HIGH-TORQUE MOTOR

FIELD OF THE INVENTION

5 The present invention relates to a motor and more specifically to a low-speed, high-torque motor with a small cogging torque.

BACKGROUND OF THE INVENTION

10

Low-speed, high-torque motors have a wide range of application as a direct drive (DD) with no reduction gear interposed. One example of use is a source for driving the arm of a robot. The motor described in the Japanese Patent Laid-Open No. 63974/1984 published on April 11, 1984 in the title of "Motor for High-torque robot" also belongs to this field of art.

The motor of this kind has teeth on the rotor and stator and produces a very large torque by arranging the stator along the inner and outer circumferences of the rotor.

By referring to Figures 3 through 5, the low-speed high-torque motor structure will be explained below.

Designated 1 is a rotor which has a magnet 2 that is magnetized in the axial direction. The rotor 1 has at each end a yoke 3 which has teeth formed on its outer circumference.

The flux going out of the magnet 2, as shown by the arrow in Figure 3, passes the yoke 3 and the gap between the rotor and the stator and enters the stator. It then passes through the gap again and the rotor yoke 3 on the other side and then returns to the magnet 2. Many teeth are formed on the outer circumference of the rotor and on the inner circumference of the stator. The rotor has 90 teeth at even pitches and the stator has 10 teeth in each magnetic pole. There are eight magnetic poles that are arranged at equal pitches. The rotor teeth are spaced 4 degrees from each other and the stator poles are arranged at 45-degree intervals with 10 teeth on each pole spaced 4 degrees from each other.

The gap between the rotor and the stator is made as small as 70 to 100  $\mu\text{m}$  to increase the flux density.

30 Since in the prior low-speed high-torque motor in this field the gap between the rotor and the stator is made very small, a cogging torque results, producing variations in motor rotation. Unless the cogging torque is removed, a smooth rotation cannot be expected.

The cogging torque is variations in torque produced in the motor when the rotor in a deenergized state is rotated by external force. The cogging torque results from variations in magnetic flux which in turn are caused by variations in permeance of the gap between the rotor and the stator as the motor rotates. Factors that cause permeance variations include errors in the tooth pitch of the stator and rotor and in the tooth width, stator pole pitch errors, deviation of centers of the stator and the rotor, and deflection of the rotor in operation. The tooth pitch errors of the stator and the rotor, the tooth width errors and the stator pole pitch errors depend on the accuracy of the pressing patterns since these components are pressed in the patterns. And there can hardly be error variations among individual components. The center deviation and deflection, however, are caused by factors involving the assembly process and there are variations in error among individual components. As mentioned above, since the gap in the motor of this type is very small, even a slight center deviation or deflection will result in greater torque variations than in other types of motor. In an experimental motor, the torque produced varies from 200 gf-cm to 600 gf-cm, the largest being three times as large as the smallest.

In the low-speed high-torque motor, even slight torque ripples and cogging torques present a problem. In addition, this type of motor has another problem of characteristic variations among individual motors.

When there is no center deviation or deflection, the magnetic flux variations in each pole are sinusoidal as shown in Figure 2 if we neglect the tooth pitch error and hysteresis saturation of the core material. The two magnetic fluxes of opposing phases cancel each other making the total flux at every angle constant. However, the actual products have manufacturing errors and bearing clearances, so that the center deviation or deflection cannot be eliminated.

On the other hand, the permeance is not proportional to the gap difference because the flux extends not only from the opposing tooth surfaces but from the sides of the teeth. Therefore, in a motor with a center deviation and deflection, the flux variations of each phase differ from those of the other phase for both the

DC and AC components, so that these fluxes cannot cancel each other producing a cogging torque. The amounts of center deviation and of deflection vary from one product to another and their directions (phase) also differ, making it impossible to cancel the flux variations by a controlling means. Thus, solving the above problem by structural improvements has been called for.

5

### SUMMARY OF THE INVENTION

10 An object of the present invention is to provide a low-speed high-torque motor which is able to reduce the rotational variations at low speeds.

Taking advantage of the fact that in the above-mentioned ideal condition where there is no center deviation and deflection the magnetic flux can be made constant by canceling the flux variations between the magnetic poles of opposite phases, this invention arranges the windings on the adjacent poles in such a way as to make them opposite in phase to each other to reduce the permeance variations between the opposing phases, thus making it possible to reduce the cogging torque even when there is center deviation or deflection.

Two adjacent magnetic poles which are arranged opposite in phase to each other and which, because of their close positional relationship, are affected by the structural errors such as center deviation and deflection to the same degree have almost the same permeance variations and variation patterns that act upon the two poles. Since they are opposite in phase, the fluxes cancel each other suppressing the flux variations over the entire circumference of the air gap, which in turn reduces the cogging torque that results from the flux variations.

25

### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

Figure 1 is a front view of the stator, representing one embodiment of this invention;  
 30 Figure 2 is a diagram showing the relation between the mechanical angle and the magnetic flux;  
 Figure 3 is a half-sectioned view of a motor to which this invention applies;  
 Figure 4 is a front view of the conventional stator; and  
 Figure 5 is a front view of the rotor of this invention.

35

### DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT

The stator of this invention that makes use of the aforementioned advantages is shown in Figure 1. The rotor, as shown in Figure 5, has 90 teeth on the outer circumference at equal four-degree pitches. The stator of Figure 1 has a total of 16 magnetic poles in two phases as indicated by P1 through P16 with five teeth formed in each pole.

The pitch of the teeth on each stator pole is four degrees, equal to the rotor tooth pitch. It is noted, however, that the position of each stator pole (phase) relative to the rotor is slightly deviated and its relationship is shown in the table below.

The table shows the deviation angle between the teeth on the stator poles P2 through P16 and the rotor teeth with the teeth on the pole P1 are aligned with the rotor teeth.

50

55



Pole No.	Devia- tion angle	Pole No.	Devia- tion angle	Pole No.	Devia- tion angle	Pole No.	Devia- tion angle
P1	0°	P5	2°	P9	0°	P13	2°
P2	2.5°	P6	0.5°	P10	2.5°	P14	0.5°
P3	1°	P7	3°	P11	1°	P15	3°
P4	3.5°	P8	1.5°	P12	3.5°	P16	1.5°

Since the motor of this embodiment has two phases, if the pole P1 is taken as positive, the complete opposite phase is the poles P5 and P13 that have their teeth deviated from the rotor's by a half pitch or two degrees. In other words the latter two poles are 180 electrical degrees apart from the first pole P1.

Phase A and phase B are 90 electrical degrees apart (tooth deviation: 1° in mechanical angle) and the magnetic poles P1 through P16 assume either positive phase A or B or negative phase  $\bar{A}$  or  $\bar{B}$  as shown in Figure 1.

For the poles with  $\pm 0.5^\circ$  tooth deviations, they assume either a positive or a negative phase whichever is closer.

There are fractional angles of  $0.5^\circ$  and this results from the arrangement where the stator poles are spaced at equal pitches to eliminate the core directivity, improve work efficiency, and enhance the dimension accuracy of the slot area and slot opening.

The magnetic poles have the phase as shown in Figure 1, and each pole has on one side an adjacent pole which is reverse in phase. Further, while in the conventional motor the angle between the positive and negative polarities is  $90^\circ$ , it is reduced to a very small angle of  $22.5^\circ$  with this embodiment.

When, for example, a center deviation of  $20 \mu\text{m}$  exists in the direction of phase A, the conventional motor will have a gap difference of  $20 \mu\text{m}$  between the phase A and the opposite phase  $\bar{A}$ . With this invention, however, it was found that this gap difference is reduced to  $4.3 \mu\text{m}$ , about one-fifth the conventional gap difference.

This means the reduced flux variation between the positive and negative phases and therefore the reduced cogging torque.

According to the actually measured values, the cogging torque produced in this embodiment is 50 to 70 gf-cm, about 1/4 to 1/8 the conventional value.

Although the above description deals with a motor of an inner rotor type, the same can also be said of an outer rotor type motor which falls under the technical scope of this invention.

The low-speed high-torque motor of the present invention also attains the characteristic shown in Figure 2.

While this invention describes the two-phase motor, it is apparent that the above method can also be applied to motors of three or more phases.

According to the invention, in a motor in which a rotor has many teeth formed on its outer circumference; and in which a stator disposed around the rotor has a plurality of magnetic poles, its number being  $n$  times the number of phases, each pole having formed on its surface a plurality of teeth at a pitch equal to the rotor tooth pitch; the magnetic poles are so arranged that the adjacent poles are reverse in phase to each other to significantly reduce the cogging torque. As a result a motor without a rotation speed variation can be obtained.

## Claims

1. A low-speed high-torque motor comprising a rotor (1) having a large number of teeth formed on its outer circumference, and a stator (2) disposed around the rotor, the stator having multiple magnetic poles whose number is  $n$  times the number of phases, each pole having formed on its surface a plurality of teeth at a pitch equal to the rotor tooth pitch,

characterized in that

the magnetic poles of said stator are so arranged that adjacent poles provide opposite phases.

2. A low-speed high-torque motor according to claim 1, wherein the adjacent magnetic poles have their teeth deviated from the rotor teeth by one-half of the tooth pitch or approximately equal to one-half of the tooth pitch.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

## Dispositifs électromagnétiques de type moteur ou générateur

La présente invention concerne des dispositifs électro-magnétiques, à savoir des moteurs à course illimitée ou à course limitée (actionneurs) et générateurs, mono- ou polyphasés, comportant au moins deux jeux de dents en matériau magnétique doux et en déplacement relatif par phase, un jeu de dents étant lié au stator et l'autre à la partie mobile à mouvement rotatif ou linéaire (ci-après "rotor"). Chaque jeu de dents peut comporter plusieurs dents dont le nombre peut être différent au stator et au rotor. A la limite, l'un des jeux, ou les deux, peut ne comporter qu'une seule dent.

Dans beaucoup de dispositifs de ce type, le pas entre les dents est sensiblement constant et sensiblement le même pour les deux jeux de dents. La réluctance au passage du champ magnétique entre ces jeux de dents, et par suite la perméance qui est l'inverse de la réluctance, est variable au cours du déplacement. Lorsqu'une extrémité de dent du stator et une extrémité de dent du rotor sont face à face, elles déterminent entre elles un entrefer de longueur minimale  $E$ . Dans les dispositifs concernés par l'invention, le déplacement élémentaire  $dx$  (cf. Fig. 5) de la dent du rotor est parallèle à la tangente à l'extrémité de la dent du stator, ce qui les distingue des électro-aimants dont le déplacement se fait dans le sens de l'entrefer minimum.

Des dispositifs à mouvement rotatif ou linéaire ayant les caractéristiques susmentionnées peuvent être des moteurs, actionneurs ou générateurs à réluctance variable, c'est-à-dire sans aimant permanent, ou des moteurs, actionneurs ou générateurs hybrides, dits aussi réluctants polarisés, qui comportent au moins un aimant permanent au stator ou au rotor.



Dans les versions rotatives les plus courantes, le dispositif comporte un rotor de forme générale cylindrique constitué par au moins un ensemble coaxial comprenant au moins une partie polaire de rotor fixée sur un axe, chaque partie polaire de rotor présentant une denture formée par des dents radiales disposées le long de sa périphérie en respectant un pas uniforme. Le dispositif comporte un stator qui comprend une partie de circuit magnétique en matériau magnétique doux, de forme générale annulaire, coaxiale par rapport au rotor, constituée d'une partie périphérique et de plusieurs parties polaires de stator. Chacune de ces parties polaires de stator est alimentée par au moins une bobine électrique et comporte une ou plusieurs dents orientées radialement de façon à faire face à la denture du rotor. Les dents du stator, s'il y en a plus d'une par partie polaire, sont disposées sensiblement selon le même pas que les dents du rotor, une dent du rotor et une dent du stator placées en regard définissant entre elles un entrefer radial de longueur minimale  $E$ . Il existe également des variantes à entrefer axial, ou à entrefer oblique.

De tels dispositifs électromagnétiques sont connus depuis plusieurs dizaines d'années. Les types hybrides sont largement utilisés, notamment sous forme de moteurs pas-à-pas di- ou triphasés. Des descriptions de ces dispositifs se trouvent par exemple dans le livre "Stepping motors and their microprocessor controls" par Takashi Kenjo et Akira Sugawara, Clarendon Press, Oxford 1994, deuxième édition, pages 28 à 36 pour les moteurs à réluctance variable, pages 37 à 44 pour les moteurs hybrides, ou dans le Traité d'électricité de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, volume IX, "Electromécanique" par Marcel Jufer, Presses polytechniques et universitaires romandes, § 11.2.5 "Moteur réluctant à simple circuit" et § 11.2.11 "Moteur réluctant polarisé". Les variantes à mouvement linéaire correspondent à un déroulement des moteurs rotatifs et sont décrites par exemple à la page 33 dans l'ouvrage précité de T. Kenjo et au § 11.13 dans l'ouvrage précité de M. Jufer.

Ces dispositifs ont fait l'objet de nombreuses études théoriques, cf. notamment l'article de Marcel Jufer et Gunter Heine "Hybrid stepper motor torque and inductance characteristics with saturation effects" paru dans "Incremental Motion Control Systems and Devices (IMCSD) Proceedings", Fifteenth Annual Symposium, 1986, pages 207 à 211, et les références citées dans cet article.

Dans la conception traditionnelle de ces dispositifs, on considère que la longueur de l'entrefer entre deux dents en regard doit être la plus courte possible compte tenu des contraintes techniques découlant des tolérances de fabrication au niveau du diamètre, de la concentricité, du centrage, des bavures et d'autres sources d'imprécision. T. Kenjo le dit clairement à la page 30 de l'ouvrage précité dans le chapitre intitulé « Air-gap should be as small as possible ». Cette conception a été soutenue par la théorie. En effet, selon l'expression fondamentale bien connue pour calculer des forces ou des couples en électromagnétisme dérivant de l'expression de l'énergie magnétique stocké dans l'entrefer, deux jeux de dents en déplacement relatif suivant le degré de liberté  $\alpha$

engendrent un couple  $C$  proportionnel à  $\frac{dA}{d\alpha} U^2$ , formule dans laquelle  $U$  est la différence de potentiel magnétique appliqué entre ces jeux de dents et  $A$  la perméance entre eux. Il peut s'agir, dans un moteur à réluctance variable, d'une différence de potentiel magnétique due seulement aux ampères-tours engendrés par une ou plusieurs bobines parcourues par un courant, disposées de diverses manières possibles, ou, dans un moteur hybride, de la somme algébrique de la différence de potentiel magnétique  $U_a$  polarisant l'entrefer sous l'influence de l'aimant permanent et de la différence de potentiel magnétique  $U_{ni}$  engendré par la ou les bobines déjà citées.

La dérivée de la perméance  $dA/d\alpha$  peut se mettre sous la forme d'un développement en série de Fourier, comme la perméance elle-même :

$$A = a_0 + a_1 \sin(N\alpha) + a_2 \sin(2N\alpha) \dots,$$
$$dA/d\alpha = Na_1 \cos(N\alpha) + 2Na_2 \cos(2N\alpha) \dots$$

N étant le nombre de dents du rotor par tour, ou, si le rotor n'est pas complètement denté, le rapport  $2\pi/(\text{pas angulaire})$  des dents existantes.

Le premier terme de la dérivée de cette expression par rapport à  $\alpha$ , dit terme fondamental, est  $Na_1 \cos(N\alpha)$ . Dans un moteur ou un actionneur destiné au contrôle de mouvement, ou dans un générateur dont on attend une tension bien sinusoïdale, le nombre de dents N étant fixé, on cherche à augmenter l'amplitude  $a_1$  du fondamental et à réduire autant que possible l'amplitude  $a_2, a_3 \dots$  des harmoniques en  $\cos(2N\alpha), \cos(3N\alpha), \dots$ . Le fondamental du couple prend alors l'expression [1]:

$$C = \frac{dA}{d\alpha} U^2 = Na_1 U^2 \cos(N\alpha) \quad [1]$$

Il est bien connu que le terme  $a_1$  augmente quand l'entrefer diminue. Le couple C étant proportionnel à ce terme, il semblait logique de choisir l'entrefer minimal compatible avec le procédé de fabrication.

Dans le cas d'un moteur hybride d'une taille courante (taille dite 23 soit diamètre  $\approx 57\text{mm}$ , longueur  $\approx 51\text{mm}$ ), l'entrefer minimal habituel est de l'ordre de 0,07 à 0,08mm, ce qui entraîne des contraintes sévères au niveau des tolérances de fabrication et augmente donc les coûts de fabrication. En pratique, l'entrefer E des moteurs conventionnels de cette taille est toujours  $\leq 0,1\text{mm}$ .

Pour un tel moteur hybride, la différence de potentiel maximale  $U_{\max}$  intervenant dans la formule du couple ci-dessus est  $U_{\max} = U_{ni(\max)} + U_a$ . Dans la taille citée, la bobine fournit par exemple, en régime permanent, une différence de potentiel maximale  $U_{ni(\max)} = 85At$  entre dents. Le couple dû au courant étant maximal lorsque  $U_a \approx U_{ni(\max)}$ ,  $U_a$  est aussi ajusté à environ 85At, donc  $U_{\max} = 170At$ . En négligeant les pertes de potentiel dans les matériaux magnétiques doux du stator et du rotor, l'induction  $B$  dans l'entrefer est

$$B = \mu_0 U_{\max} / E \quad [2]$$

Si on veut se limiter à  $B = 2T$  en raison de la saturation du matériau du circuit magnétique, on calcule  $E = 1,07 \times 10^{-4}m$ . Donc, un entrefer de 7 à  $8 \times 10^{-4}m$  conduit à une légère saturation du fer-silicium utilisé comme matériau magnétique doux. Mais quand on utilise uniquement ce type de moteur avec un faible pourcentage de marche (duty cycle), on pourrait augmenter les ampères-tours pendant les brèves périodes de fonctionnement et donc augmenter l'entrefer de façon à rester dans le domaine linéaire décrit par la relation [2]. Or, dans les dispositifs conventionnels, on ne le fait pas pour la raison citée plus haut : on préfère garder maximale la dérivée de la perméance, donc le faible entrefer, et saturer davantage le circuit magnétique.

On relève par exemple dans l'ouvrage précité de M. Jufer donnant au §11.19.1 les caractéristiques d'un moteur pas à pas réluctant rotatif de marque WARNER :  $E = 0,05mm$  et  $U_{\max} = 14/5 * 80 = 224At$ , soit 3 fois la valeur des ampères-tours suffisants pour amener  $B$  à 2T dans l'entrefer de  $5 \times 10^{-5}m$ . Certes, cela fait monter encore le couple crête, mais engendre surtout une grande distorsion de la fonction  $C = f(\alpha)$  qui n'est pas du tout une fonction sinusoïdale. Ceci est bien illustré dans l'ouvrage de M. Jufer au §11.11.7 et Fig. 11.85. De plus le couple n'est plus une fonction simple du courant : le terme  $a_i$  devient lui-même fonction de  $U_{\max}$ . Il en résulte dans beaucoup d'applications de graves inconvénients, par

une augmentation de la modulation de la vitesse instantanée et du couple ("cogging" en anglais) dû au courant quand le moteur est censé tourner à vitesse constante en délivrant un couple constant, et une augmentation du bruit. Il en résulte aussi de moins bonnes qualités de positionnement en boucle ouverte, particulièrement lorsqu'on a besoin de subdiviser les pas.

Au vu de ces inconvénients, un but de l'invention est de fournir un dispositif électromagnétique qui soit agencé de façon à permettre une réduction sensible des coûts de fabrication et/ou d'améliorer sa caractéristique de couple  $C=f(\alpha)$ .

Il est avantageux, pour une utilisation pour du contrôle de mouvement en boucle ouverte ou fermée, de fournir un dispositif électromagnétique qui délivre, pour chaque phase, une loi de couple sensiblement sinusoïdale jusqu'à une valeur de potentiel magnétique peu inférieure au potentiel maximal prévu.

Des buts de l'inventions sont réalisés par le dispositif selon la revendication 1.

Le dispositif électromagnétique selon l'invention, qui est d'une taille permettant la génération d'un potentiel magnétique maximal  $U_{\max}$  d'environ  $1,7 \times 10^{-4} \text{ J}/\mu_0$ , soit environ 270At (ampères-tours) si  $J=2\text{T}$ , ou plus, est notamment caractérisé en ce que la longueur  $E$  de l'entrefer minimal mesurée dans le sens perpendiculaire au degré de liberté est choisie de façon:

que  $E$  est approximativement égal ou plus grand que la valeur de

$0,7[1-5 \times 10^{-4} (U_{\max} - 1,7 \times 10^{-4} \text{ J}/\mu_0)] \mu_0 U_{\max}/J$ , quand

$[1-5 \times 10^{-4} (U_{\max} - 1,7 \times 10^{-4} \text{ J}/\mu_0)] \geq 0,5$ ,

ou que  $E$  est approximativement égal ou plus grand que



$0,35\mu_0 U_{\max}/J$  quand  $[1-5 \times 10^{-4} (U_{\max} - 1,7 \times 10^{-4} J/\mu_0)] < 0,5$ ;

ou que  $E$  est plus grand que  $2 \cdot 10^{-3}m$ ,

où :

- $\mu_0$  est la perméabilité du vide;
- $U_{\max}$  est la différence de potentiel magnétique maximale engendrée pour faire passer le champ magnétique dans l'entrefer  $E$ , cette différence de potentiel étant due
  - soit aux seuls ampères-tours de la/les bobine(s) alimentant l'entrefer  $E$
  - soit à l'addition desdits ampères-tours et de la différence de potentiel magnétique entre les deux jeux de dents, en l'absence de courant, due à un aimant permanent (dit potentiel de polarisation); et
- $J$  est la polarisation maximale du matériau magnétique doux utilisé pour la réalisation de la denture ; ce  $J$  est défini par la relation habituelle  $B = \mu_0 H + J$  dans laquelle  $H$  est assez grand pour atteindre environ 99% de la valeur limite de  $J$ , ou bien encore, en introduisant la perméabilité relative  $\mu_r$ , par la relation  $J = \mu_0(\mu_r - 1)H$  ( $H$  étant assez grand pour engendrer environ 99% de la valeur limite de  $J$ ).

Pour le fer-silicium laminé couramment utilisé comme matériau magnétique doux,  $J \approx 2T$ .

Une étude approfondie des conditions de fonctionnement d'un moteur ou générateur a révélé, de façon surprenante et à l'encontre de la tendance générale visant à réduire les entrefers, qu'il est au contraire avantageux, pour optimiser le moteur ou générateur lorsqu'on dispose de suffisamment d'ampères-tours, d'augmenter les entrefers, plus particulièrement pour les moteurs ou générateurs dont le potentiel magnétique maximal est plus grand qu'environ  $1,7 \cdot 10^{-4} \text{ J}/\mu_0$ .

Dans la présente invention, c'est le produit  $a_1 U^2$  apparaissant dans l'expression [1] qui est optimisé, contrairement à tous les dispositifs conventionnels, où seulement le terme fondamental  $a_1$  de la variation de perméance de la denture est optimisé.

Dans un générateur d'électricité, par exemple du type à réluctance variable polarisé, la tension est proportionnelle à  $d\Phi/dt$  ou  $d\Phi/d\alpha \cdot d\alpha/dt$ . Le terme  $d\alpha$  est la vitesse angulaire. Le flux est le produit d'une perméance par une différence de potentiel ; la variation de flux est proportionnelle à  $a_1 U_a$ . Lorsque le générateur débite, le courant augmente la différence de potentiel entre certains jeux de dents, et on retrouve une relation en  $a_1 U^2$ , comme pour un moteur, ce qui conduit aux mêmes conclusions au sujet de l'entrefer minimal E.

Lorsque le matériau magnétique doux travaille à une induction supérieure de seulement 2% à sa polarisation J, on a un domaine sensiblement linéaire de variation de l'induction B maximale en fonction de U rappelé plus haut par la relation [2]. On peut alors remplacer U dans l'expression du couple par la valeur  $B E/\mu_0$ , ce qui donne

$$C = \frac{N a_1 B^2 E^2}{\mu_0^2} \cos(N\alpha)$$

[3]

Il est clair qu'il est préférable d'augmenter  $B$ , qui intervient au carré, autant que le permet le matériau magnétique doux, tout en restant dans la condition citée que, de préférence,  $B$  n'est supérieur à  $J$  que de 2% ou moins pour ne perdre qu'une faible partie de  $U_{\max}$  dans le matériau magnétique doux. Les critères de choix de ce matériau sont, par exemple, sa facilité de fabrication, son coût et la fréquence de fonctionnement du dispositif.

Dans la présente invention, il faut déterminer comment évolue le produit  $a_1 E^2$  et non plus  $a_1$  seul. Le facteur  $a_1$  est une fonction du rapport pas/entrefer ( $P/E$ ) de la denture. Cette fonction a pu être corrélée empiriquement avec une fonction puissance dans un large domaine de variation de  $P/E$ . Il s'avère que, à pas  $P$  de denture rotor (mesuré suivant l'arc) constant,  $a_1$  est sensiblement proportionnel à  $E^{-1,42}$  et ce jusqu'à des rapports  $P/E$  inférieurs à 10. Il en résulte que le produit  $a_1 E^2$ , et donc  $C$ , de façon très surprenante, est proportionnel à  $E^{0,58}$  qui est une fonction croissante. Par exemple, quand on double  $E$ , le terme  $E^{0,58}$  augmente d'environ 50 %. La puissance 0,58 peut varier légèrement en fonction de la forme des dents, mais la conclusion est toujours que le produit  $a_1 E^2$  est une fonction croissante de  $E$ .

Il est clair que, pour bénéficier de cet avantage, il faut pouvoir augmenter  $U_{\max}$  comme  $E$ , comme le montre la Fig. 7 qui illustre, dans le domaine 25, la formule  $E = 0,7 \mu_0 U_{\max} / J$ , pour deux valeurs de  $J$  correspondant respectivement à un fer-silicium (ligne 23) d'usage courant et à un des meilleurs matériaux, à savoir le fer-cobalt (ligne 23'). Cette valeur de  $E$  va donc au-delà de la valeur qui engendrerait avec de petits entrefers une induction proche de la saturation du matériau doux utilisé. Aux faibles potentiels, c'est à dire où  $U_{\max}$  est inférieur à environ 114 At pour du fer-silicium, comme indiqué par le domaine 24 de la Fig. 7, on tombe dans des valeurs d'entrefer de moins de  $5 \times 10^{-5}$  m qui correspondent aux limites des possibilités de réalisation mécanique. Cet entrefer est alors déterminé par d'autres considérations que la formule ci-dessus, bien que les valeurs se recoupent.

L'invention s'applique de ce fait aux dispositifs d'une taille supérieure à quelque 40 à 50mm en version rotative. Pour ces dispositifs,  $U_{\max}$  est approximativement plus grand que  $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ J}/0,7\mu_0$ , tel qu'indiqué par le domaine 25 dans la Fig. 7.

En pratique, si on ne recherche pas une très grande qualité de fonctionnement en contrôle de mouvement, on peut accepter que B devienne plus grand que J de 5% par exemple en bout de dent. E serait défini par la formule  $\mu_0 U_{\max} / 1,05J$  si on admettait qu'il n'y a pas de perte de potentiel dans le matériau doux. Mais en réalité la perte de potentiel dans le matériau doux n'est plus négligeable, surtout au niveau des dents, et la différence de potentiel qui reste entre les deux jeux de dent n'est plus, par exemple, qu'environ 84 % de  $U_{\max}$ . On peut donc définir la valeur de E limite par  $0,84\mu_0 U_{\max} / 1,05J$  soit  $E \geq 0,8 \mu_0 U_{\max} / J$ . Toutefois, avec certains matériaux magnétiques doux, on perd davantage d'ampères-tours à  $B=1,05 J$ , et il est raisonnable d'accepter de perdre 30% du potentiel engendré dans ce matériau doux sans trop influencer la linéarité du couple en fonction de la puissance électrique appliquée ou générée (suivant si c'est un moteur ou un générateur), de façon qu'il ne reste entre les dents que les 70% de  $U_{\max}$ , donc  $0,7 U_{\max}$ .

Une valeur préférée de E selon l'invention suit alors la relation

$$E \geq 0,7 \mu_0 U_{\max} / J. \quad [4]$$

Il est à noter que la progression des entrefers des dispositifs conventionnels augmente aussi avec  $U_{\max}$  puisque la taille croissante des dispositifs entraîne l'augmentation des tolérances de fabrication, de centrage et du jeu nécessaire pour la dilation thermique. Toutefois, dans les dispositifs conventionnels, on essaye toujours de garder l'entrefer aussi petit que possible, ce qui résulte en une progression des entrefers des machines conventionnels en fonction de  $U_{\max}$  moins

raide que la relation [4] ci-dessus. Il est donc possible d'améliorer les dispositifs existants en augmentant leurs entrefers sans pour autant atteindre la valeur préférée de  $E \geq 0,7 \mu_0 U_{\max} / J$ .

A cet égard, pour des dispositifs de taille croissante, pouvant engendrer des valeurs élevées de  $U_{\max}$ , la longueur du circuit magnétique en matériau doux peut amener des pertes croissantes mais acceptables pour certains usages (moteurs de traction par exemple), de telle sorte que l'on peut accepter de baisser la valeur du coefficient de  $\mu_0 U_{\max} / J$ . On peut définir ce coefficient d'affaiblissement par l'expression:

$$E \geq k 0,7 \mu_0 U_{\max} / J$$

où

$$K = 1 - 5 \cdot 10^{-4} (U_{\max} - 1,7 \times 10^4 J / \mu_0)$$

avec la condition  $K \geq 0,5$ .

Comme on ne trouve pas d'entrefers  $E$  dans les dispositifs conventionnels dépassant 1 à 2mm, on peut améliorer les performances des grands dispositifs en augmentant l'entrefer au-delà de 1 à 2mm, même en étant en dessous de la valeur de l'entrefer suivant la relation de l'entrefer plus optimale [4] ci-dessus.

Il est remarquable que, lorsque l'entrefer augmente, à induction constante dans l'entrefer, la perte de potentiel magnétique dans les matériaux doux du stator et du rotor reste sensiblement constante. Donc cette perte ramené à la différence de potentiel magnétique total  $U_{\max}$  se trouve réduite, ce qui linéarise la caractéristique couple=f(puissance électrique appliquée) du dispositif. En effet, la puissance électrique appliquée est, comme le couple, en  $U^2$ . A l'inverse, dans les dispositifs suivant l'art antérieurs comme celui cité plus haut (M. Jufer §11.19.1) la perte de



potentiel dans le matériau doux peut représenter plusieurs fois la différence de potentiel existant entre les sommets de dents. On ne peut s'attendre à aucune linéarité entre le couple et la puissance appliquée dans les dispositifs conventionnels.

A titre d'exemple, dans une forme d'exécution concernant un moteur hybride, c'est-à-dire un moteur muni d'un aimant permanent, si le matériau magnétique doux est un fer-silicium caractérisé par  $J=2T$  et dont chaque partie polaire de stator engendre sous l'effet du courant  $160At$ , on est conduit à choisir pour  $U_a$  également une valeur de l'ordre de  $160At$ , soit  $U_{max} \approx 320 At$ . La règle de dimensionnement appliquée à ce moteur conduit à une valeur de  $E$  de  $1,6 \times 10^{-4}m$  ou  $0,16 mm$ , valeur nettement supérieure à celle correspondant à la technologie ancienne des dispositifs de contrôle de mouvement.

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront des revendications, de la description donnée ci-dessous et des dessins annexés. Dans ces dessins qui illustrent, à titre d'exemple, deux formes de réalisation de moteurs selon l'invention et son dimensionnement,

la Fig. 1 est une vue en coupe axiale d'une première forme d'exécution de l'invention, notamment d'un moteur hybride, selon la ligne I-I de la Fig. 2;

la Fig. 2 est une vue de face, dans le sens axial, du moteur de la Fig. 1;

la Fig. 3 est un détail agrandi d'une partie de la denture d'un moteur selon l'invention;

la Fig. 4 est une vue de face, dans le sens axial, d'une variante d'un moteur hybride selon l'invention; et

la Fig. 5 est une vue de face, dans le sens axial, d'une autre forme d'exécution de l'invention, notamment d'un moteur ou générateur à réluctance variable;

la Fig. 6 est une vue de face, dans le sens axial, d'une variante d'un moteur ou générateur à réluctance variable selon l'invention; et

la Fig. 7 est un graphique montrant la relation optimale entre l'entrefer  $E$  minimal et le potentiel magnétique maximal  $U_{\max}$  des dispositifs selon l'invention.

Selon la Fig. 1, le moteur hybride selon l'invention comporte un stator désigné dans son ensemble par 1 et un rotor 2 monté sur un axe 3. L'axe 3 est logé dans des paliers non représentés, supportés dans un boîtier du moteur également non représenté qui assure le centrage de l'axe 3 par rapport au stator 1.

Le stator 1 comprend une partie de circuit magnétique 4 réalisée par exemple par un empilage de tôles en fer-silicium. Des bobines électriques telles que 5 sont montées sur ce stator de la manière décrite plus loin. Le rotor 2 comporte deux parties polaires 6 et 7 constituées chacune par exemple par un empilement de tôles en fer-silicium, ces parties polaires présentant des creusures coaxiales respectives 8 et 9, notamment pour réduire l'inertie du rotor tout en n'affectant pas ses propriétés magnétiques. Un aimant permanent en forme de disque annulaire 10 est disposé entre les parties polaires 6 et 7 de manière à former un ensemble coaxial solidaire de l'axe 3. L'aimant 10 est aimanté dans le sens axial et son épaisseur dans ce sens est très faible par rapport à son diamètre extérieur.

La Fig. 2 montre l'ensemble stator et rotor en vue dans le sens axial. Selon cette figure, la partie de circuit magnétique 4 du stator 1 comporte une partie essentiellement annulaire 11 et plusieurs parties polaires telles que 12, dirigées radialement vers l'intérieur du stator. Chacune des parties polaires 12 présente une partie de corps et une denture 13 formée de plusieurs dents telles que 14. Des bobines électriques telles que 5, 5', etc... sont préfabriquées sur des supports isolants tels que 15, 15' et sont montés sur les parties de corps de parties polaires

correspondantes. Ces parties polaires ont une longueur uniforme dans le sens axial et une largeur uniforme dans le plan radial du moteur, de sorte que les ensembles bobine-support isolant peuvent être mis en place sur les parties polaires par l'intérieur du stator. Les supports isolants 15, 15' qui présentent une certaine élasticité peuvent être munis sur leur côté intérieur de parties saillantes 16 agencées pour pénétrer dans des encoches correspondantes 17 sur le flanc des parties polaires de manière à ce que les bobines soient retenues sur ces parties polaires. La forme de ces parties polaires et notamment l'absence d'épanouissements au niveau de la denture permet le montage décrit par lequel on évite la nécessité d'un bobinage in situ nettement plus compliqué et onéreux.

La forme extérieure de la partie 4 montrée à la Fig. 2 est octogonale, en coupe transversale, le stator comportant en l'occurrence huit parties polaires 12. Une telle forme octogonale permet de prévoir des ouvertures ou alésages de fixation et de centrage 18 dans des angles du polygone, évitant ainsi un affaiblissement du circuit magnétique et le risque correspondant d'une saturation à l'endroit d'une section réduite.

Le moteur hybride selon la Fig. 4 est très similaire à celui de la Fig. 2, sauf qu'il y a quatre parties polaires 12'. L'utilisation de deux bobines 5'', 5''' par phase au lieu de quatre pour la forme d'exécution de la Fig. 2 permet d'appliquer deux fois plus de puissance électrique par bobine alors que chaque bobine comporte plus de cuivre. Il en résulte la possibilité d'engendrer presque deux fois plus d'ampères-tours par bobine qu'avec la disposition à huit pôles/huit bobines, selon la Fig. 2.

Le rotor 2 présente à sa périphérie une série de dents 19 formant une denture de pas uniforme 14.

La Fig. 3 montre un détail de la denture 20 du rotor placée face à la denture 13 d'une partie polaire du stator. La forme et la dimension des dents 14 et 19 et des parties creuses adjacentes respectives 21 et 22 sont semblables, bien que la dent du stator soit plus creusée que la dent du rotor. Deux dents placées en regard l'une de l'autre forment entre-elles un entrefer de longueur E dans le sens radial, la valeur de E étant faible par rapport à la hauteur des dents. La particularité des dentures représentés à la Fig. 3 consiste notamment en la forme des creusures 21, 22 qui est de préférence essentiellement parabolique dans le plan radial du moteur, l'angle  $\beta$  formé entre les tangentes au profil des dents sur les coins de celles-ci ayant une valeur d'environ  $110^\circ$ , soit une valeur comprise entre  $95^\circ$  et  $125^\circ$ , de préférence entre  $105^\circ$  et  $115^\circ$ . Une telle forme s'avère être particulièrement avantageuse lorsqu'on est en présence d'une induction élevée puisque la perte de potentiel dans les bouts de dents se trouve sensiblement réduite tout en ayant une bonne profondeur (d) des dents.

Le dimensionnement de l'entrefer selon l'invention repose sur la différence de potentiel magnétique maximal  $U_{ni(max)}$  égale aux ampères-tours de la/les bobine(s) alimentant l'entrefer E. Ce potentiel est limité par la valeur maximale du courant i que le moteur peut supporter soit en régime permanent soit en régime de pourcentage de marche réduit, cette dernière valeur du courant pouvant être un multiple du courant maximal en régime permanent.

Dans les formes d'exécution des Figures 1, 2 et 4 (moteurs hybrides), on choisit l'aimant permanent et on le dimensionne de façon à ce qu'il engendre dans l'entrefer à peu près la même différence de potentiel que le courant maximal, c'est-à-dire  $U_a \approx U_{ni(max)}$ . La différence de potentiel maximal entre dents en regard est donc  $U_{(max)} = 2U_{ni(max)}$ .

Dans le cas du moteur mentionné plus haut utilisant un circuit magnétique en fer-silicium caractérisé par  $J=2T$  et optimisé pour un fonctionnement permanent, une bobine peut engendrer  $U_{ni(max)}=160At$ . En appliquant la relation déjà justifiée plus haut  $E \geq 0,8 \mu_o U_{(max)}/J$ , on trouve  $E \geq 1,61 \times 10^{-4}m$ . Il ne serait judicieux de prendre une valeur beaucoup plus élevée que la limite inférieure, par exemple  $2,2 \times 10^{-4}m$  soit plus 37 %, que si une excellente linéarité et un très faible taux de distorsion de la loi de couple de chaque phase était demandée, au détriment du couple maximal. L'induction maximale dans l'entrefer et dans les bouts de dents serait d'environ 1,8T pour l'exemple précité.

Il est toutefois avantageux de rester dans une gamme de valeurs définie par la relation  $0,7\mu_o U_{(max)}/J \leq E \leq 1,1\mu_o U_{(max)}/J$ . La limite supérieure a été choisie empiriquement de façon qu'une excellente linéarité soit atteinte avec une perte de couple maximale de moins de 30% par rapport à la limite inférieure de  $E$ , compte tenu de la forte réduction des pertes de potentiel dans le matériau doux.

Il est à noter que, l'aimant alimentant deux entrefers en série, il doit engendrer un potentiel de 320 At, plus de quoi compenser diverses pertes dans les couches de protection contre la corrosion et les interstices entre tôles. Cela s'obtient facilement avec un aimant NdFeB (Néodyme-Fer-Bore) qui, dans le cas de l'exemple de moteur selon la Fig. 4, soit un moteur diphasé comportant un total de deux pôles de stator par phase, peut avoir une épaisseur de l'ordre de 1,5 mm en travaillant peu au-dessus de son point de (BH) maximum. On ajuste ce point de fonctionnement par la longueur des pôles du rotor dans le sens axial et par la surface de l'aimant. L'entrefer minimum utilisé suivant l'art antérieur rend difficile l'ajustement du point de fonctionnement de l'aimant d'un aimant moderne de type NdFeB au voisinage de son point de (BH) maximum ; on a souvent une droite de charge caractérisée par  $B/\mu_o H = -4$  à  $-5$ . Il en résulte qu'il faut un volume d'aimant supérieur (donc un coût supérieur) au volume de l'aimant suivant la présente invention.



Dans les moteurs selon l'invention, il est avantageux de prendre des mesures pour réduire le couple de détente parasite à  $2PxN$  périodes/tour,  $P$  étant le nombre de phases du moteur et  $N$  le nombre de dents du rotor. Ce couple de détente croît avec le carré du potentiel de polarisation de l'entrefer par l'aimant, mais décroît aussi très vite avec l'entrefer. Pour l'annuler, ou au moins pour le réduire si la précision de réalisation n'est pas parfaite, on peut, comme il est bien connu, fausser légèrement le pas entre les dents de chaque partie polaire du stator de telle sorte que l'addition géométrique des vecteurs représentant le  $2P$ -ième harmonique dû à chaque dent soit nulle.

Si le moteur ci-dessus avait été optimisé pour un fonctionnement à 25 % de pourcentage de marche, les potentiels seraient doublés et l'entrefer recommandé serait de 0,32mm. La vitesse de montée en puissance mécanique  $C^2/I$ , dite aussi « power rate »,  $I$  étant le moment d'inertie du rotor, s'en trouverait plus que doublée ce qui est très surprenant par rapport à l'art antérieur où les plus faibles entrefers possibles sont réalisés.

L'augmentation de la longueur de l'entrefer dans les dispositifs selon l'invention permet, outre des tolérances de fabrication moins étroites que dans le cas des moteurs ou générateurs usuels, d'obtenir de nombreux avantages au niveau de la fabrication tels que par exemple le fait de pouvoir aimanter l'aimant permanent du rotor alors qu'il se trouve à l'extérieur du stator en raison du plus grand jeu d'introduction du rotor dans le stator. Une telle aimantation peut permettre de mieux saturer l'aimant et d'éviter des déformations permanentes dues au choc au moment de l'aimantation in situ. Mais surtout, il devient possible, grâce à une aimantation à l'extérieur du stator, de réaliser le rotor d'un moteur comportant deux ensembles formés chacun d'un aimant et de ses parties polaires, sous la forme d'une succession, dans le sens axial, d'une partie polaire extérieure, d'un premier aimant, de deux parties polaires centrales accolées, d'un second aimant

et d'une partie polaire extérieure. L'aimantation des aimants pouvant être, dans ce cas, de sens opposé, les parties polaires centrales auront la même polarité, par exemple Nord, et les parties polaires extérieures feront apparaître des pôles Sud. Il n'y a ainsi pas de fuites magnétiques entre les extrémités du rotor et il n'est pas nécessaire de séparer magnétiquement les parties polaires centrales comme dans le cas d'une aimantation du rotor dans un moteur assemblé, où les parties polaires centrales ont des polarités opposées.

Dans le moteur hybride avec stator à quatre pôles et rotor à  $N=50$  dents selon la Fig. 4, l'équilibrage dynamique des forces magnétiques n'est pas optimale avec deux parties polaires au rotor. Avec trois parties polaires, selon l'explication en rapport avec la forme d'exécution selon la Fig. 5 ci-dessus, on obtient un très bon équilibrage.

On peut également mentionner l'avantage de l'invention dans le cas où elle conduit à un entrefer suffisamment grand pour permettre de découper les tôles constituant le rotor et le stator en même temps. Il en résulte une simplification de la fabrication et une économie de matière importante.

La Fig. 5 montre un moteur triphasé à pure réluctance variable, donc sans aimant de polarisation de la denture, comportant six parties polaires 12" non dentées au stator 1', deux par phase, et quatre dents 19" au rotor 2". Ce type de moteur présente un regain d'intérêt avec les possibilités modernes de contrôle électronique. Il est utilisable avec commutation électronique et peut constituer suivant la présente invention un excellent moteur d'asservissement car sans couple de détente et sans pertes magnétiques au rotor en l'absence de courant. Le moment d'inertie de son rotor peut être beaucoup plus faible que celui du moteur hybride dont le diamètre du rotor est conditionné par la surface d'aimant nécessaire pour engendrer le potentiel de polarisation. Un tel moteur, comme il est d'usage pour les moteurs d'asservissement, est construit pour supporter des

courants crêtes 8 à 10 fois supérieurs au courant acceptable en régime permanent.

Si le courant permanent engendre 150At par bobine 5, dans la même taille que l'exemple spécifique du moteur hybride décrit ci-dessus, l'entrefer doit être dimensionné pour un potentiel maximal d'au moins 1200At, ce qui conduit à un entrefer  $E$  d'au moins 0,6mm, ce qui est bien supérieur aux entrefers de l'état de la technique qui sont de l'ordre de grandeur de 0,1 mm ou moins suivant la précision de fabrication et autres tolérances.

Avec une seule dent par partie polaire de stator et avec un entrefer constant, il est difficile d'obtenir un faible taux d'harmonique dans la fonction perméance  $A = f(\alpha)$ . Il convient plutôt d'utiliser par exemple un rotor cylindrique coopérant avec des extrémités de pôles stator planes comme représenté à la Fig. 3. Lorsque deux dents sont en regard, l'entrefer  $E$  entre leurs sommets varie donc légèrement d'une valeur maximale de chaque côté à une valeur minimale sur l'axe de symétrie. Dans ce cas, l'entrefer  $E$  concerné par la formule de dimensionnement revendiquée est l'entrefer minimal. La variante de la Fig. 6 est similaire à la variante de la Fig. 5 sauf qu'il y a huit dents 19'' au rotor 2''. La creusure 22'' entre dents peut avantageusement avoir la forme d'une parabole, pour les mêmes raisons déjà données par rapport aux dents illustrées dans la Fig. 3. Chaque partie polaire de stator comporte un chanfrein 26 à son extrémité pour réduire l'induction quand on s'éloigne de l'extrémité. L'extrémité 27 des dents du rotor a le même rayon que le cercle circonscrit au rotor. Chaque extrémité 28 de partie polaire 12'' de stator est courbée avec un rayon tel que, lorsque les dents du stator et du rotor se font face, il y ait un entrefer variable entre elles. Dans un exemple spécifique où le potentiel  $U_{\max}$  est de 1100At, l'entrefer varie d'un minimum  $E$  valant  $5 \cdot 10^{-4}$  à environ  $1,65E$ , soit  $8,25 \cdot 10^{-4}m$  pour obtenir une loi de variation de perméance comportant un très faible pourcentage d'harmoniques.

L'invention peut s'appliquer à d'autres variantes de moteurs, par exemple selon les constructions mentionnées par T. Kenjo à la page 33 Fig. 2.19 (moteur linéaire) et page 34, Fig. 2.22 (deux entrefers en série), sans sortir du cadre de la présente invention.

D'autres possibilités et avantages apparaîtront à l'homme de métier tant au niveau de la fabrication que de l'utilisation du moteur selon l'invention.

### Revendications

1. Dispositif électromagnétique, à savoir un moteur ou générateur mono- ou polyphasé, linéaire ou rotatif, comportant au moins deux jeux de dents en matériau magnétique doux et en déplacement relatif par phase, un jeu de dent(s) étant lié au stator et l'autre au rotor, le dispositif ayant une taille lui permettant la génération d'un potentiel magnétique maximal  $U_{\max}$  d'environ  $1,7 \cdot 10^{-4} \text{ J}/\mu_0$  ampères-tours (At), caractérisés en ce que la longueur E de l'entrefer minimal entre dents du rotor et du stator mesurée dans le sens perpendiculaire au degré de liberté est approximativement égale ou plus grande que:

la valeur de  $0,7[1-5 \cdot 10^{-4} (U_{\max} - 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ J}/\mu_0)] \mu_0 U_{\max}/\text{J}$  quand

$[1-5 \cdot 10^{-4} (U_{\max} - 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ J}/\mu_0)] \geq 0,5$ ,

ou la valeur de  $0,35 \mu_0 U_{\max}/\text{J}$

quand  $[1-5 \cdot 10^{-4} (U_{\max} - 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ J}/\mu_0)] < 0,5$ ;

ou que E est plus grand que  $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ;

où  $\mu_0$  est la perméabilité du vide,  $U_{\max}$  est la différence de potentiel magnétique maximale engendrée pour faire passer le champ magnétique dans l'entrefer E, cette différence de potentiel étant due, soit aux seuls ampères-tours de la/les bobine(s) alimentant l'entrefer E, soit à l'addition desdits ampères-tours et de la différence de potentiel magnétique entre les deux jeux de dents, en l'absence de courant, due à un aimant permanent, et où J est la polarisation maximale du matériau magnétique doux utilisé pour la réalisation de la denture.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la longueur E de l'entrefer est plus petite ou approximativement égale à la valeur  $1,1 \mu_0 U_{\max}/\text{J}$ .



3. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la longueur E de l'entrefer est plus grande que  $1,2 \times 10^{-4}$  m.
4. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la longueur E de l'entrefer est plus grande que  $1,5 \times 10^{-4}$  m.
5. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que des creusures (22, 22") entre les dents du rotor ont une forme essentiellement paraboliques.
6. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que des creusures 21 entre les dents du stator ont une forme essentiellement paraboliques.
7. Dispositif selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que l'angle  $\beta$  formé entre les tangentes au profil des dents sur les coins de celles-ci a une valeur comprise entre  $95^\circ$  et  $120^\circ$ .
8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'angle  $\beta$  a une valeur comprise entre  $100^\circ$  et  $115^\circ$ .
9. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les parties polaires de stator (12) ont, dans le sens axial, une longueur uniforme et, dans un plan radial, une largeur uniforme, et en ce que les bobines (5) sont des bobines préfabriquées sur des supports isolants (15), ces bobines et

les parties polaires de stator étant agencées de façon à permettre la mise en place de ces bobines préfabriquées sur lesdites parties polaires de stator.

10. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le dispositif est un moteur hybride comportant un aimant permanent (10) fournissant un potentiel magnétique de façon que la différence de potentiel magnétique totale aux bornes de l'entrefer soit sensiblement égale à  $0,5 U_{\max}$ .

11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que le rotor (2) est de forme générale cylindrique constitué par au moins un ensemble coaxial comprenant l'aimant permanent (10) en forme de disque annulaire, aimanté axialement, et deux parties polaires de rotor (6, 7) magnétiquement perméables, disposées de part et d'autre dudit disque.

12. Dispositif selon les revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le dispositif est un moteur ou générateur à réluctance variable.

13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'une extrémité (28) de partie polaire (12") de stator est courbée avec un rayon tel que, lorsque les dents du stator et du rotor se font face, il y a un entrefer variable entre elles.

14. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la longueur de l'entrefer  $E$  est plus grande ou essentiellement égale à la valeur de  $0,7 \mu_0 U_{\max} / J$ .

15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que la longueur de l'entrefer  $E$  est plus grande ou essentiellement égale à  $0,8 \mu_0 U_{\max} / J$ .

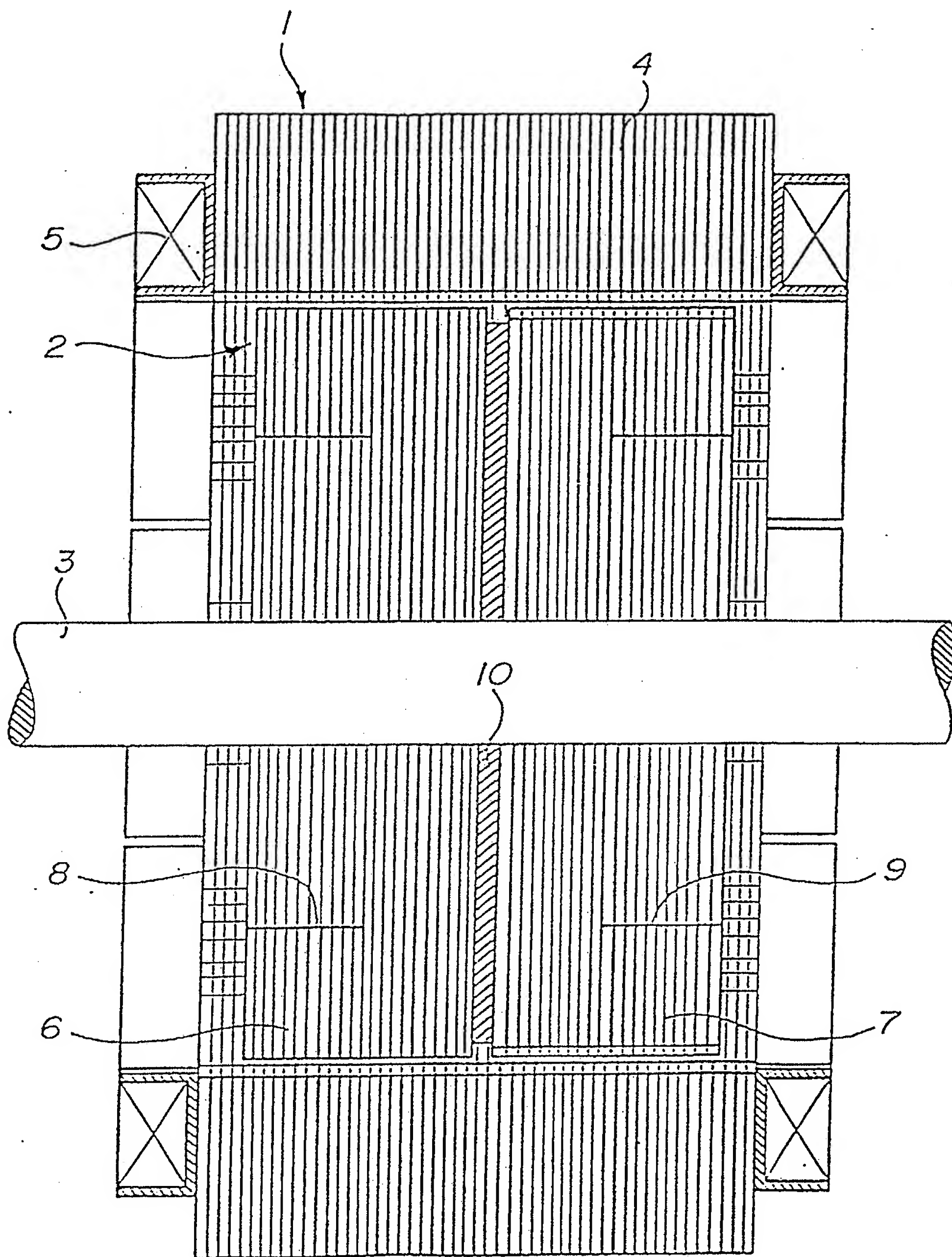


FIG. 1

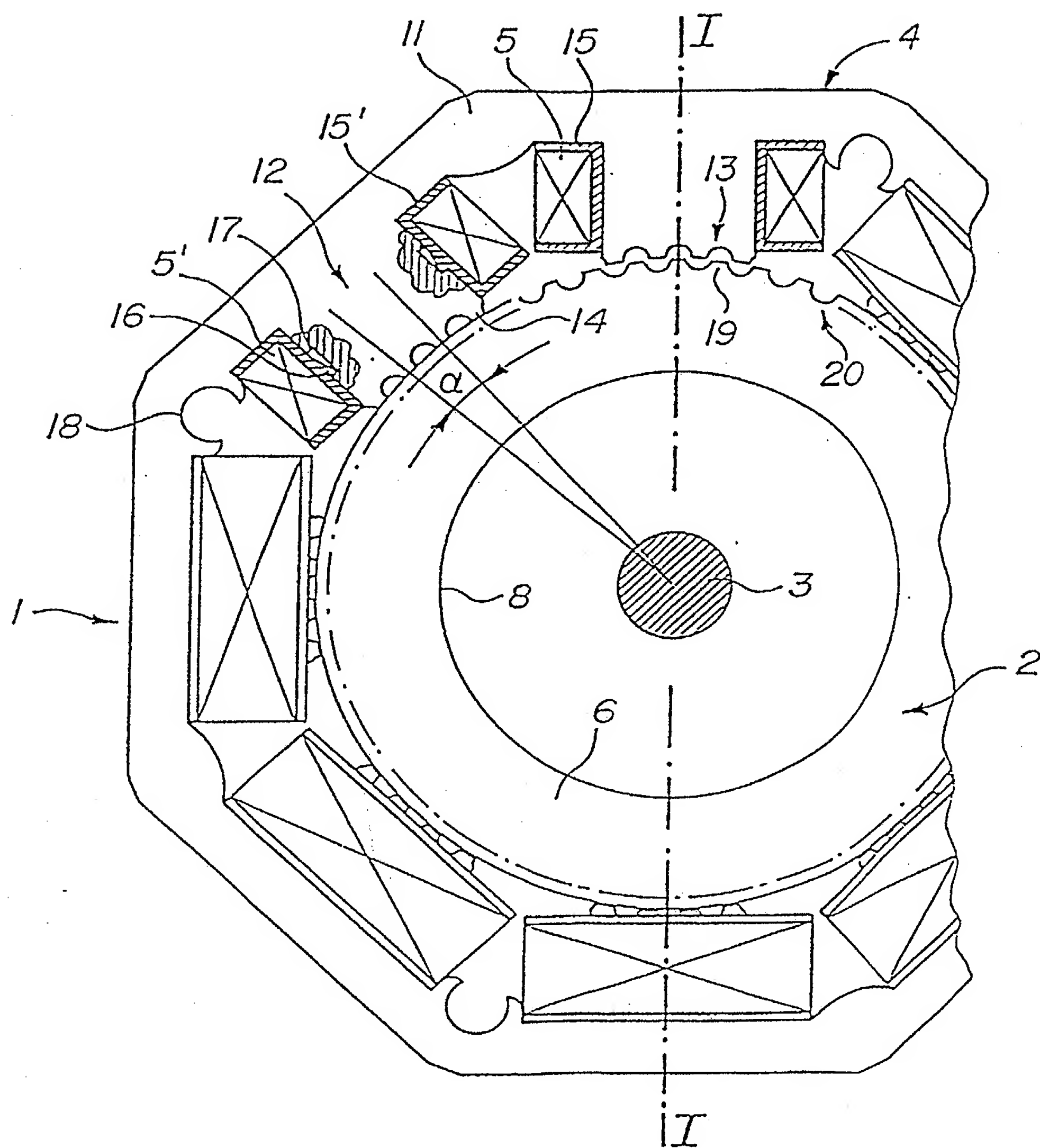
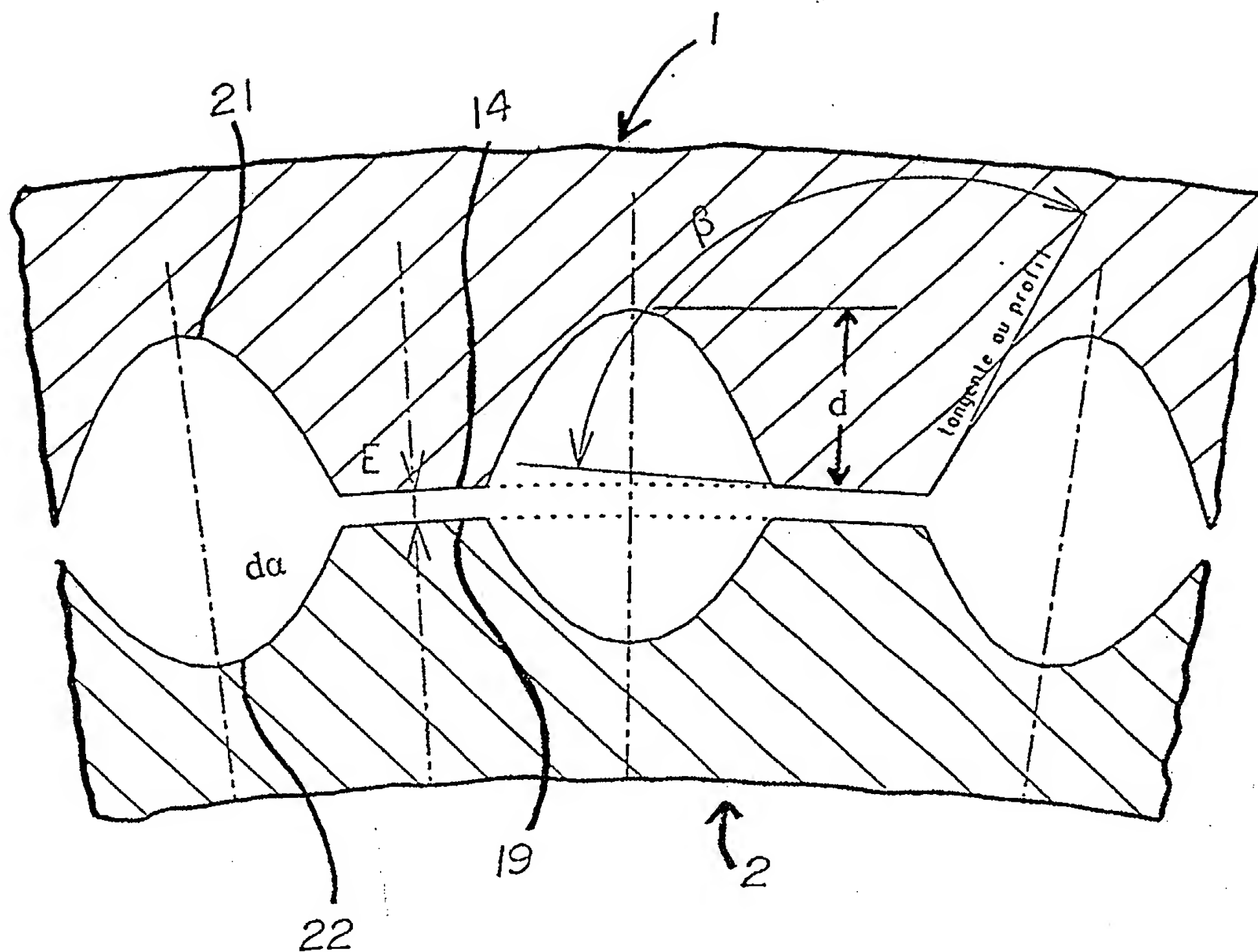


FIG. 2



**FIG. 3**



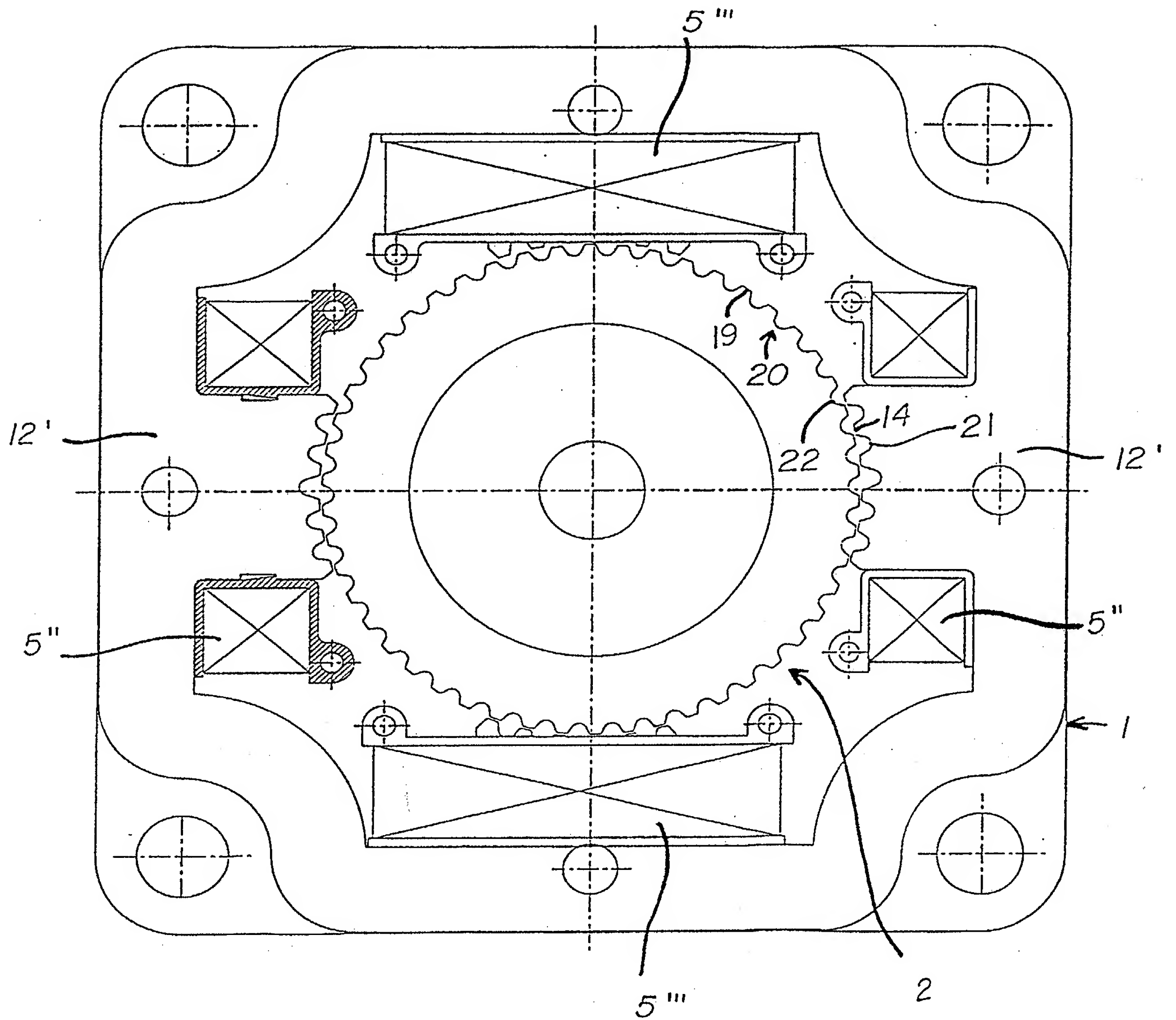


FIG. 4

5/7

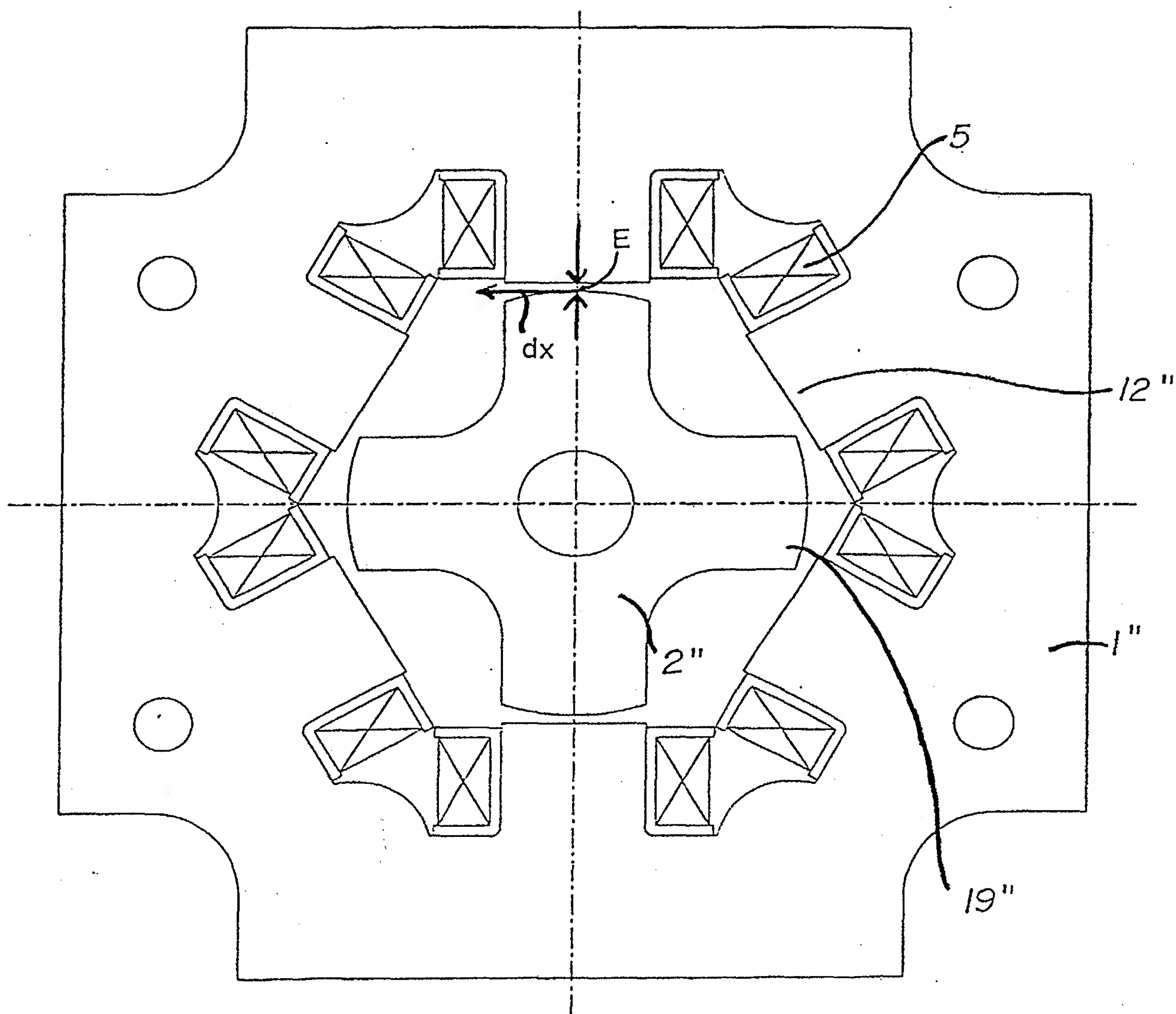
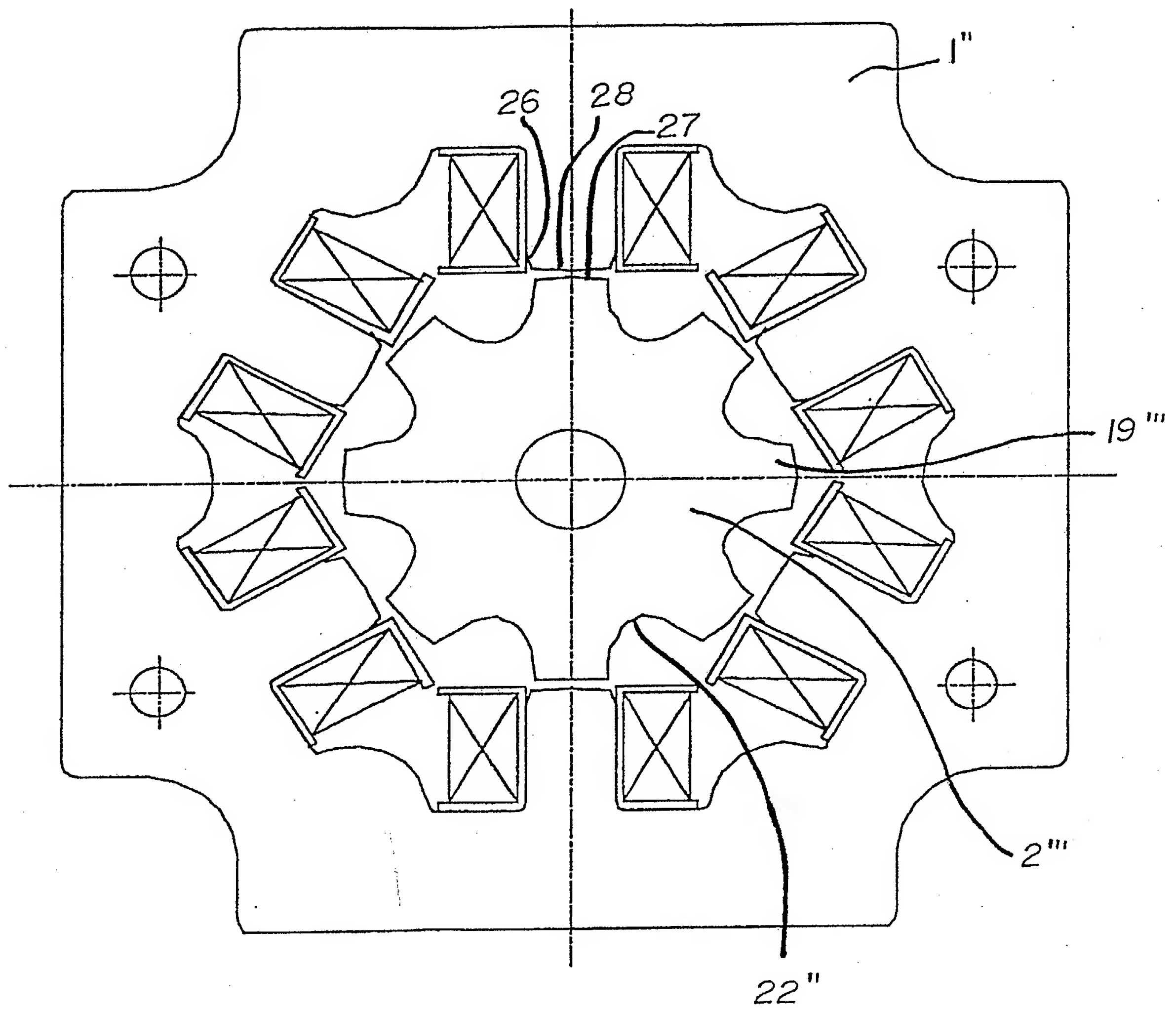


FIG. 5

**FIG. 6**

7/7

$$E \geq 0,7 \mu_0 U_{\max} / J_{\text{md}}$$

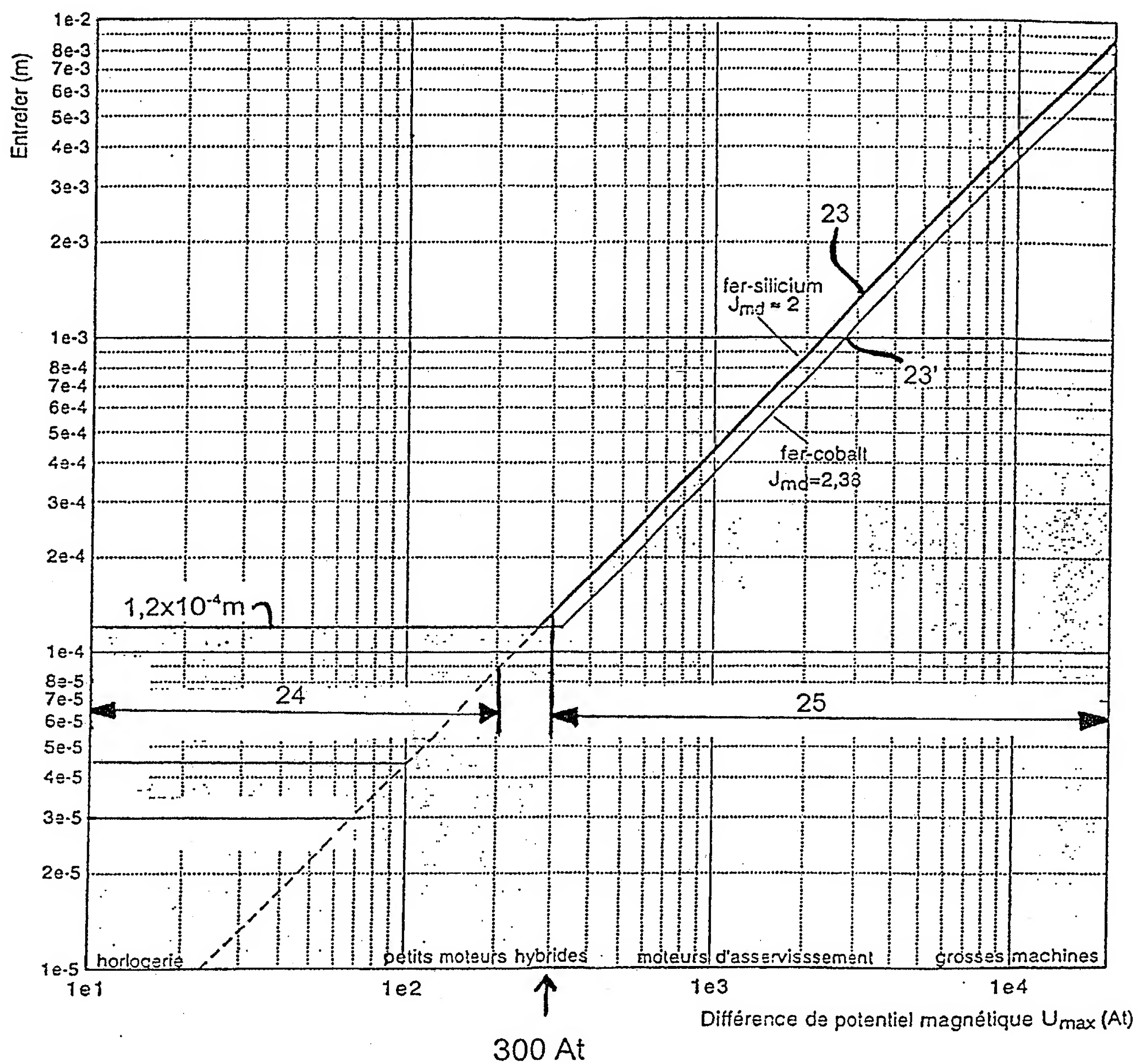
 $J_{\text{md}}$  = polarisation maximale du matériau doux


FIG. 7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No

PO 00/00381

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H02K37/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 288 050 A (HITACHI LTD) 26 October 1988 (1988-10-26) page 2, line 19 - line 29; figures 1,3	1
A	EP 0 581 612 A (MINEBEA KK) 2 February 1994 (1994-02-02) page 2, line 16 - line 29; figures 9A,9B,10	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 November 2000

Date of mailing of the international search report

16/11/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Zoukas, E



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT


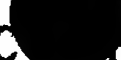
Information on patent family members

International Application No

PCT/JP 00/00381

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0288050	A	26-10-1988	JP 63268459 A	07-11-1988
			US 4890024 A	26-12-1989
EP 0581612	A	02-02-1994	JP 6062557 A	04-03-1994
			DE 69308676 D	17-04-1997
			DE 69308676 T	19-06-1997
			US 5374865 A	20-12-1994

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De  Internationale No  
PC  00/00381

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 H02K37/18

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H02K

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 0 288 050 A (HITACHI LTD) 26 octobre 1988 (1988-10-26) page 2, ligne 19 - ligne 29; figures 1,3	1
A	EP 0 581 612 A (MINEBEA KK) 2 février 1994 (1994-02-02) page 2, ligne 16 - ligne 29; figures 9A,9B,10	1

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*&\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

6 novembre 2000

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

16/11/2000

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Zoukas, E

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres des familles de brevets

Doc. Internationale No

PC 00/00381

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0288050 A	26-10-1988	JP 63268459 A US 4890024 A	07-11-1988 26-12-1989
EP 0581612 A	02-02-1994	JP 6062557 A DE 69308676 D DE 69308676 T US 5374865 A	04-03-1994 17-04-1997 19-06-1997 20-12-1994

**Translation**

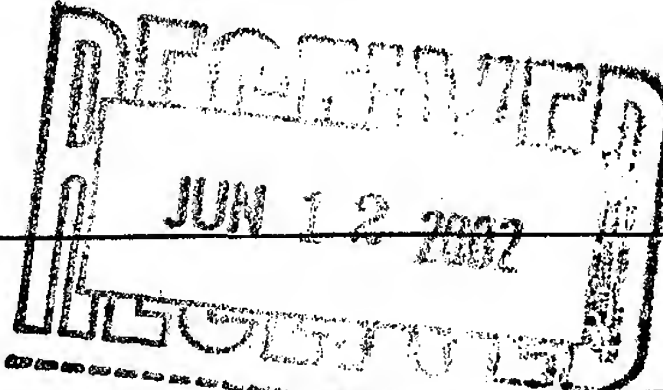
PATENT COOPERATION TREATY

**PCT**

**INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT**

(PCT Article 36 and Rule 70)

10/030854

Applicant's or agent's file reference B-12861 PCT		<b>FOR FURTHER ACTION</b> See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/CH00/00381	International filing date (day/month/year) 12 July 2000 (12.07.00)	Priority date (day/month/year) 12 July 1999 (12.07.99)	
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC H02K 37/18			
Applicant MMT S.A.			

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.

2. This REPORT consists of a total of 4 sheets, including this cover sheet.

☐ This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

These annexes consist of a total of \_\_\_\_\_ sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

- I ☒ Basis of the report
- II ☐ Priority
- III ☐ Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- IV ☐ Lack of unity of invention
- V ☒ Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- VI ☐ Certain documents cited
- VII ☐ Certain defects in the international application
- VIII ☐ Certain observations on the international application

RECEIVED  
 MAY - 2002  
 TECHNOLOGY CENTER 2800

Date of submission of the demand 05 February 2001 (05.02.01)	Date of completion of this report 25 May 2001 (25.05.2001)
Name and mailing address of the IPEA/EP	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

# INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/CH00/00381

## I. Basis of the report

1. This report has been drawn on the basis of (*Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to the report since they do not contain amendments.*):

- ☐ the international application as originally filed.
- ☒ the description, pages 1-20, as originally filed,  
 pages \_\_\_\_\_, filed with the demand,  
 pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_,  
 pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_.
- ☒ the claims, Nos. 1-15, as originally filed,  
 Nos. \_\_\_\_\_, as amended under Article 19,  
 Nos. \_\_\_\_\_, filed with the demand,  
 Nos. \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_,  
 Nos. \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_.
- ☒ the drawings, sheets/fig 1/7-7/7, as originally filed,  
 sheets/fig \_\_\_\_\_, filed with the demand,  
 sheets/fig \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_,  
 sheets/fig \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_.

2. The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages \_\_\_\_\_
- ☐ the claims, Nos. \_\_\_\_\_
- ☐ the drawings, sheets/fig \_\_\_\_\_

3. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).

4. Additional observations, if necessary:



# INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.  
PCT/CH 00/00381

## V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

### 1. Statement

Novelty (N)	Claims	1-15	YES
	Claims		NO
Inventive step (IS)	Claims	1-15	YES
	Claims		NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-15	YES
	Claims		NO

### 2. Citations and explanations

The present application relates to motors comprising at least two sets of teeth made of soft magnetic material and with relative shift displacement, one set of teeth belonging to the stator and the other to the mobile part with rotary or linear motion (the rotor). Each set of teeth can comprise several teeth, the number whereof can differ for the stator and the rotor.

The documents cited in the Search Report are not more relevant than the prior art already known to and described by the applicant.

#### The problem

The aim of the application is to provide an electromagnetic device with **substantially reduced production costs and/or an improved torque characteristic.**

#### The solution

The length E of the minimum gap measured in the direction perpendicular to the degree of freedom assumes **values which are defined in the second portion of Claim 1.**

The documents cited in the Search Report disclose fewer technical features than those already contained in the preamble of Claim 1.

The subject matter of Claim 1 is therefore novel.

**INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT**

International application No.  
PCT/CH 00/00381

The known prior art does not make reference either to the problem or to the solution on which the Claim is based. The subject matter of the claim is therefore inventive. Claim 1 thus complies with the conditions of novelty and inventive step of PCT Article 33(2) and (3). Claims 2-15 are dependent on Claim 1 and therefore, as such, also satisfy the PCT requirements as regards novelty and inventive step. All the claims are obviously industrially applicable (PCT Article 33(4)).

# TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

## PCT

### RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

(article 18 et règles 43 et 44 du PCT)

Référence du dossier du déposant ou du mandataire <b>B-12861 PCT</b>	<b>POUR SUITE</b> voir la notification de transmission du rapport de recherche internationale (formulaire PCT/ISA/220) et, le cas échéant, le point 5 ci-après <b>A DONNER</b>	
Demande internationale n° <b>PCT/CH 00/ 00381</b>	Date du dépôt international (jour/mois/année) <b>12/07/2000</b>	(Date de priorité (la plus ancienne) (jour/mois/année) <b>12/07/1999</b>
Déposant  <b>MMT S.A. et al.</b>		

Le présent rapport de recherche internationale, établi par l'administration chargée de la recherche internationale, est transmis au déposant conformément à l'article 18. Une copie en est transmise au Bureau international.

Ce rapport de recherche internationale comprend 2 feuilles.

☒ Il est aussi accompagné d'une copie de chaque document relatif à l'état de la technique qui y est cité.

#### 1. Base du rapport

- a. En ce qui concerne la **langue**, la recherche internationale a été effectuée sur la base de la demande internationale dans la langue dans laquelle elle a été déposée, sauf indication contraire donnée sous le même point.
- ☐ la recherche internationale a été effectuée sur la base d'une traduction de la demande internationale remise à l'administration.
- b. En ce qui concerne les **séquences de nucléotides ou d'acides aminés** divulguées dans la demande internationale (le cas échéant), la recherche internationale a été effectuée sur la base du listage des séquences :
- ☐ contenu dans la demande internationale, sous forme écrite.
- ☐ déposée avec la demande internationale, sous forme déchiffrable par ordinateur.
- ☐ remis ultérieurement à l'administration, sous forme écrite.
- ☐ remis ultérieurement à l'administration, sous forme déchiffrable par ordinateur.
- ☐ La déclaration, selon laquelle le listage des séquences présenté par écrit et fourni ultérieurement ne vas pas au-delà de la divulgation faite dans la demande telle que déposée, a été fournie.
- ☐ La déclaration, selon laquelle les informations enregistrées sous forme déchiffrable par ordinateur sont identiques à celles du listage des séquences présenté par écrit, a été fournie.

2. ☐ Il a été estimé que certaines revendications ne pouvaient pas faire l'objet d'une recherche (voir le cadre I).

3. ☐ Il y a absence d'unité de l'invention (voir le cadre-II).

#### 4. En ce qui concerne le titre,

- ☒ le texte est approuvé tel qu'il a été remis par le déposant.
- ☐ Le texte a été établi par l'administration et a la teneur suivante:

#### 5. En ce qui concerne l'abrégé,

- ☒ le texte est approuvé tel qu'il a été remis par le déposant
- ☐ le texte (reproduit dans le cadre III) a été établi par l'administration conformément à la règle 38.2b). Le déposant peut présenter des observations à l'administration dans un délai d'un mois à compter de la date d'expédition du présent rapport de recherche internationale.

#### 6. La figure des dessins à publier avec l'abrégé est la Figure n°

- ☒ suggérée par le déposant.
- ☐ parce que le déposant n'a pas suggéré de figure.
- ☐ parce que cette figure caractérise mieux l'invention.

7

☐ Aucune des figures n'est à publier.

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

CH 00/00381

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 H02K37/18

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H02K

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 0 288 050 A (HITACHI LTD) 26 octobre 1988 (1988-10-26) page 2, ligne 19 - ligne 29; figures 1,3 ---	1
A	EP 0 581 612 A (MINEBEA KK) 2 février 1994 (1994-02-02) page 2, ligne 16 - ligne 29; figures 9A,9B,10 -----	1

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

6 novembre 2000

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

16/11/2000

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Zoukas, E

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

P/CH 00/00381

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0288050 A	26-10-1988	JP 63268459 A US 4890024 A	07-11-1988 26-12-1989
EP 0581612 A	02-02-1994	JP 6062557 A DE 69308676 D DE 69308676 T US 5374865 A	04-03-1994 17-04-1997 19-06-1997 20-12-1994



# TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

## PCT

REC'D 29 MAY 2001

WIPO

PCT

### RAPPORT D'EXAMEN PRELIMINAIRE INTERNATIONAL

(article 36 et règle 70 du PCT)

Référence du dossier du déposant ou du mandataire B-12861 PCT	<b>POUR SUITE A DONNER</b> voir la notification de transmission du rapport d'examen préliminaire international (formulaire PCT/IPEA/416)	
Demande internationale n° PCT/CH00/00381	Date du dépôt international (jour/mois/année) 12/07/2000	Date de priorité (jour/mois/année) 12/07/1999
Classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois classification nationale et CIB H02K37/18		
Déposant MMT S.A. et al.		

1. Le présent rapport d'examen préliminaire international, établi par l'administration chargée de l'examen préliminaire international, est transmis au déposant conformément à l'article 36.


2. Ce RAPPORT comprend 4 feuilles, y compris la présente feuille de couverture.

☐ Il est accompagné d'ANNEXES, c'est-à-dire de feuilles de la description, des revendications ou des dessins qui ont été modifiées et qui servent de base au présent rapport ou de feuilles contenant des rectifications faites auprès de l'administration chargée de l'examen préliminaire international (voir la règle 70.16 et l'instruction 607 des Instructions administratives du PCT).

Ces annexes comprennent feuilles.

3. Le présent rapport contient des indications relatives aux points suivants:

- I ☒ Base du rapport
- II ☐ Priorité
- III ☐ Absence de formulation d'opinion quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle
- IV ☐ Absence d'unité de l'invention
- V ☒ Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration
- VI ☐ Certains documents cités
- VII ☐ Irrégularités dans la demande internationale
- VIII ☐ Observations relatives à la demande internationale

Date de présentation de la demande d'examen préliminaire internationale  05/02/2001	Date d'achèvement du présent rapport  25.05.2001
Nom et adresse postale de l'administration chargée de l'examen préliminaire international:   Office européen des brevets - P.B. 5818 Patentlaan 2 NL-2280 HV Rijswijk - Pays Bas Tél. +31 70 340 - 2040 Tx: 31 651 epo nl Fax: +31 70 340 - 3016	Fonctionnaire autorisé  Zoukas, E  N° de téléphone +31 70 340 3463



# RAPPORT D'EXAMEN PRÉLIMINAIRE INTERNATIONAL

Demande internationale n° PCT/CH00/00381

## I. Base du rapport

1. En ce qui concerne les **éléments** de la demande internationale (*les feuilles de remplacement qui ont été remises à l'office récepteur en réponse à une invitation faite conformément à l'article 14 sont considérées dans le présent rapport comme "initialement déposées" et ne sont pas jointes en annexe au rapport puisqu'elles ne contiennent pas de modifications (règles 70.16 et 70.17)*):

### Description, pages:

1-20                      version initiale

### Revendications, N°:

1-15                      version initiale

### Dessins, feuilles:

1/7-7/7                      version initiale

2. En ce qui concerne la **langue**, tous les éléments indiqués ci-dessus étaient à la disposition de l'administration ou lui ont été remis dans la langue dans laquelle la demande internationale a été déposée, sauf indication contraire donnée sous ce point.

Ces éléments étaient à la disposition de l'administration ou lui ont été remis dans la langue suivante: , qui est :

- ☐ la langue d'une traduction remise aux fins de la recherche internationale (selon la règle 23.1(b)).
- ☐ la langue de publication de la demande internationale (selon la règle 48.3(b)).
- ☐ la langue de la traduction remise aux fins de l'examen préliminaire internationale (selon la règle 55.2 ou 55.3).

3. En ce qui concerne les **séquences de nucléotides ou d'acide aminés** divulguées dans la demande internationale (le cas échéant), l'examen préliminaire internationale a été effectué sur la base du listage des séquences :

- ☐ contenu dans la demande internationale, sous forme écrite.
- ☐ déposé avec la demande internationale, sous forme déchiffrable par ordinateur.
- ☐ remis ultérieurement à l'administration, sous forme écrite.
- ☐ remis ultérieurement à l'administration, sous forme déchiffrable par ordinateur.
- ☐ La déclaration, selon laquelle le listage des séquences par écrit et fourni ultérieurement ne va pas au-delà de la divulgation faite dans la demande telle que déposée, a été fournie.
- ☐ La déclaration, selon laquelle les informations enregistrées sous déchiffrable par ordinateur sont identiques à celles du listage des séquences Présenté par écrit, a été fournie.

4. Les modifications ont entraîné l'annulation :

**RAPPORT D'EXAMEN  
PRÉLIMINAIRE INTERNATIONAL**

Demande internationale n° PCT/CH00/00381

- ☐ de la description, pages :  
☐ des revendications, n°s :  
☐ des dessins, feuilles :

5. ☐ Le présent rapport a été formulé abstraction faite (de certaines) des modifications, qui ont été considérées comme allant au-delà de l'exposé de l'invention tel qu'il a été déposé, comme il est indiqué ci-après (règle 70.2(c)) :

*(Toute feuille de remplacement comportant des modifications de cette nature doit être indiquée au point 1 et annexée au présent rapport)*

6. Observations complémentaires, le cas échéant :

**V. Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration**

**1. Déclaration**

Nouveauté	Oui : Revendications 1-15
	Non : Revendications
Activité inventive	Oui : Revendications 1-15
	Non : Revendications
Possibilité d'application industrielle	Oui : Revendications 1-15
	Non : Revendications

- 2. Citations et explications  
voir feuille séparée**

**Concernant le point V**

**Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration**

La présente demande concerne des moteurs comportant au moins deux jeux de dents en matériau magnétique doux et en déplacement relatif par phase, un jeu de dents étant lié au stator et l'autre à la partie mobile (rotor) à mouvement rotatif ou linéaire. Chaque jeu de dents peut comporter plusieurs dents dont le nombre peut être différent au stator et au rotor.

Les documents cités dans le rapport de la recherche ne sont pas plus pertinents que l'art antérieur déjà connu et décrit par le demandeur.

**Problème**

Le but de la demande est de fournir un dispositif électromagnétique qui soit agencé de façon à permettre **une réduction sensible des coûts de fabrication et/ou d'améliorer sa caractéristique de couple.**

**Solution**

La longueur E de l'entrefer minimal mesurée dans le sens perpendiculaire au degré de liberté, prend **des valeurs définies dans la deuxième partie de la revendication 1.**

Les documents cités dans le rapport de la recherche divulguent moins de caractéristiques techniques que ceux déjà comprises dans le préambule de la revendication 1.

L'objet de la revendication 1 est par conséquent nouveau.

L'état de la technique connue n'évoque ni le problème ni la solution à la base de la revendication. L'objet de la revendication est donc inventif.

La revendication 1 remplit de ce fait les dispositions de la nouveauté et de l'activité inventive contenues dans les articles 33(2) et 33(3) du PCT.

Les revendications 2-15 dépendent de la revendication 1 et satisfont donc également, en tant que telles, aux conditions requises par le PCT en ce qui concerne la nouveauté et l'activité inventive.


Enfin, toutes les revendications ont une application industrielle (Article 33 (4)) évidente.

# TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

## PCT

### RAPPORT D'EXAMEN PRELIMINAIRE INTERNATIONAL

(article 36 et règle 70 du PCT)

Référence du dossier du déposant ou du mandataire B-12861 PCT	<b>POUR SUITE A DONNER</b> voir la notification de transmission du rapport d'examen préliminaire international (formulaire PCT/IPEA/416)	
Demande internationale n° PCT/CH00/00381	Date du dépôt international (jour/mois/année) 12/07/2000	Date de priorité (jour/mois/année) 12/07/1999
Classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois classification nationale et CIB H02K37/18		
Déposant MMT S.A. et al.		
<p>1. Le présent rapport d'examen préliminaire international, établi par l'administration chargée de l'examen préliminaire international, est transmis au déposant conformément à l'article 36.</p> <p>2. Ce RAPPORT comprend 4 feuilles, y compris la présente feuille de couverture.</p> <p><input type="checkbox"/> Il est accompagné d'ANNEXES, c'est-à-dire de feuilles de la description, des revendications ou des dessins qui ont été modifiées et qui servent de base au présent rapport ou de feuilles contenant des rectifications faites auprès de l'administration chargée de l'examen préliminaire international (voir la règle 70.16 et l'instruction 607 des Instructions administratives du PCT).</p> <p>Ces annexes comprennent feuilles.</p> <p>3. Le présent rapport contient des indications relatives aux points suivants:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>I <input checked="" type="checkbox"/> Base du rapport</li> <li>II <input type="checkbox"/> Priorité</li> <li>III <input type="checkbox"/> Absence de formulation d'opinion quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle</li> <li>IV <input type="checkbox"/> Absence d'unité de l'invention</li> <li>V <input checked="" type="checkbox"/> Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration</li> <li>VI <input type="checkbox"/> Certains documents cités</li> <li>VII <input type="checkbox"/> Irrégularités dans la demande internationale</li> <li>VIII <input type="checkbox"/> Observations relatives à la demande internationale</li> </ul>		
Date de présentation de la demande d'examen préliminaire internationale 05/02/2001	Date d'achèvement du présent rapport 25.05.2001	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de l'examen préliminaire international:  Office européen des brevets - P.B. 5818 Patentlaan 2 NL-2280 HV Rijswijk - Pays Bas Tél. +31 70 340 - 2040 Tx: 31 651 epo nl Fax: +31 70 340 - 3016	Fonctionnaire autorisé  Zoukas, E  N° de téléphone +31 70 340 3463	





**RAPPORT D'EXAMEN  
PRÉLIMINAIRE INTERNATIONAL**

Demande internationale n° PCT/CH00/00381

**I. Base du rapport**

1. En ce qui concerne les **éléments** de la demande internationale (*les feuilles de remplacement qui ont été remises à l'office récepteur en réponse à une invitation faite conformément à l'article 14 sont considérées dans le présent rapport comme "initialement déposées" et ne sont pas jointes en annexe au rapport puisqu'elles ne contiennent pas de modifications (règles 70.16 et 70.17)*):

**Description, pages:**

1-20                      version initiale

**Revendications, N°:**

1-15                      version initiale

**Dessins, feuilles:**

1/7-7/7                      version initiale

2. En ce qui concerne la **langue**, tous les éléments indiqués ci-dessus étaient à la disposition de l'administration ou lui ont été remis dans la langue dans laquelle la demande internationale a été déposée, sauf indication contraire donnée sous ce point.

Ces éléments étaient à la disposition de l'administration ou lui ont été remis dans la langue suivante: , qui est :

- ☐ la langue d'une traduction remise aux fins de la recherche internationale (selon la règle 23.1(b)).
- ☐ la langue de publication de la demande internationale (selon la règle 48.3(b)).
- ☐ la langue de la traduction remise aux fins de l'examen préliminaire internationale (selon la règle 55.2 ou 55.3).

3. En ce qui concerne les **séquences de nucléotides ou d'acide aminés** divulguées dans la demande internationale (le cas échéant), l'examen préliminaire internationale a été effectué sur la base du listage des séquences :

- ☐ contenu dans la demande internationale, sous forme écrite.
- ☐ déposé avec la demande internationale, sous forme déchiffrable par ordinateur.
- ☐ remis ultérieurement à l'administration, sous forme écrite.
- ☐ remis ultérieurement à l'administration, sous forme déchiffrable par ordinateur.
- ☐ La déclaration, selon laquelle le listage des séquences par écrit et fourni ultérieurement ne va pas au-delà de la divulgation faite dans la demande telle que déposée, a été fournie.
- ☐ La déclaration, selon laquelle les informations enregistrées sous déchiffrable par ordinateur sont identiques à celles du listage des séquences Présenté par écrit, a été fournie.

4. Les modifications ont entraîné l'annulation :

**RAPPORT D'EXAMEN  
PRÉLIMINAIRE INTERNATIONAL**

Demande internationale n° PCT/CH00/00381

- ☐ de la description, pages :
- ☐ des revendications, n°s :
- ☐ des dessins, feuilles :

5. ☐ Le présent rapport a été formulé abstraction faite (de certaines) des modifications, qui ont été considérées comme allant au-delà de l'exposé de l'invention tel qu'il a été déposé, comme il est indiqué ci-après (règle 70.2(c)) :

*(Toute feuille de remplacement comportant des modifications de cette nature doit être indiquée au point 1 et annexée au présent rapport)*

6. Observations complémentaires, le cas échéant :

**V. Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration**

**1. Déclaration**

Nouveauté	Oui : Revendications 1-15
	Non : Revendications
Activité inventive	Oui : Revendications 1-15
	Non : Revendications
Possibilité d'application industrielle	Oui : Revendications 1-15
	Non : Revendications

**2. Citations et explications  
voir feuille séparée**

**Concernant le point V**

**Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration**

La présente demande concerne des moteurs comportant au moins deux jeux de dents en matériau magnétique doux et en déplacement relatif par phase, un jeu de dents étant lié au stator et l'autre à la partie mobile (rotor) à mouvement rotatif ou linéaire. Chaque jeu de dents peut comporter plusieurs dents dont le nombre peut être différent au stator et au rotor.

Les documents cités dans le rapport de la recherche ne sont pas plus pertinents que l'art antérieur déjà connu et décrit par le demandeur.

**Problème**

Le but de la demande est de fournir un dispositif électromagnétique qui soit agencé de façon à permettre **une réduction sensible des coûts de fabrication et/ou d'améliorer sa caractéristique de couple.**

**Solution**

La longueur E de l'entrefer minimal mesurée dans le sens perpendiculaire au degré de liberté, prend **des valeurs définies dans la deuxième partie de la revendication 1.**

Les documents cités dans le rapport de la recherche divulguent moins de caractéristiques techniques que ceux déjà comprises dans le préambule de la revendication 1.

L'objet de la revendication 1 est par conséquent nouveau.

L'état de la technique connu n'évoque ni le problème ni la solution à la base de la revendication. L'objet de la revendication est donc inventif.

La revendication 1 remplit de ce fait les dispositions de la nouveauté et de l'activité inventive contenues dans les articles 33(2) et 33(3) du PCT.

Les revendications 2-15 dépendent de la revendication 1 et satisfont donc également, en tant que telles, aux conditions requises par le PCT en ce qui concerne la nouveauté et l'activité inventive.

Enfin, toutes les revendications ont une application industrielle (Article 33 (4)) évidente.